

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

подстанции следует применять при сосредоточенных нагрузках или преобладании потребителей I категории. В любом цехе с общей расчетной мощностью более 1000 кВ·А рекомендуется иметь не менее двух однотрансформаторных подстанций.

Кроме того, в практике проектирования при выборе трансформаторов необходимо: а) стремиться к возможно большей однотипности трансформаторов и оборудования подстанций на всем предприятии в целом; б) производить выбор фундамента или камеры с учетом возможности установки в будущем более мощного трансформатора; в) предусматривать работу трансформаторов на цеховых и главных подстанциях, как правило, раздельной, так как это ведет к упрощению релейной защиты и уменьшению тока короткого замыкания в сети вторичного напряжения, что очень важно для выбора коммутационных аппаратов низкого напряжения.

Ориентировочное число и мощность трансформаторов цеховых подстанций можно выбрать по удельной плотности нагрузки и суммарной нагрузке цеха. Для машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности рекомендуется принимать удельную плотность нагрузки по [12] равной 0,15–0,25 кВ·А/м². При такой плотности нагрузки наиболее экономичны трансформаторы мощностью 400; 630; 1000 кВ·А. Но основным критерием выбора числа трансформаторов для цеховых подстанций являются удельные затраты на передачу реактивной мощности с учетом капитальных затрат на сооружение подстанций и установку НБК. Поэтому в дипломных проектах число трансформаторов для цеховых подстанций рекомендуется выбирать по формуле (10.11) при их числе более трех. Если намечается установка менее трех трансформаторов, то по формуле (10.9) определяется их мощность по наибольшей активной нагрузке. Коэффициент загрузки β_T рекомендуется принимать для I категории потребителей 0,7–0,8, а для II и III категории 0,9–1,0 [5].

Пример 10.4. Определить оптимальную мощность трансформатора для однотрансформаторной подстанции и мощность НБК для цеха предприятия. Цех работает в две смены, предприятие расположено на Северо-Западе СССР. Электроснабжение цеха осуществляется от РП-10 кВ кабелем ААБ-10 кВ (3х50) длиной 0,5 км. Нагрузка цеха $S_M = 570$ кВ·А; $P_{\max T} = 500$ кВт; $Q_{\max T} = 300$ квар; $\beta_T = 1$.

Решение. По формуле (10.9) расчетная мощность трансформатора

$$S_T > \frac{500}{1 \cdot 1} = 500 \text{ кВ·А.}$$

Пользуясь шкалой мощностей трансформаторов, принимаем трансформатор мощностью 630 кВ·А.

Шкала мощностей трансформаторов

10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300
10000	16000	25000	40000	63000

Реактивная мощность, которую необходимо передать через выбранный трансформатор по формуле (10.8)

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 1 \cdot 630)^2 - 500^2} = 383 \text{ квар.}$$

По первому условию (10.7) мощность НБК

$$Q_{Н.К1} = 300 - 383 = -83 \text{ квар.}$$

Поскольку результат получился со знаком (–), принимаем значение $Q_{Н.К1} = 0$. По условию снижения потерь (10.10) мощность НБК

$$Q_{Н.К2} = 300 - 0 - 0,5 \cdot 1 \cdot 630 = -65 \text{ квар.}$$

Знак (–) показывает, что для проектируемой подстанции установка НБК вообще не требуется.

Пример 10.5. Определить минимальное количество цеховых трансформаторов и суммарную мощность НБК для цеха машиностроительного завода. Цех работает в 2 смены и расположен в южной части СССР. Потребитель относится к электроприемникам второй категории. Наибольшая расчетная суммарная мощность цеха $P_{\max T} = 8,6$ МВт; реактивная мощность $Q_{\max T} = 7,1$ Мвар; напряжение питающей сети $U_{\text{ном}} = 10$ кВ; $\beta_T = 0,9$. Цеховые трансформаторы питаются по магистральной схеме. Удельная плотность нагрузки 0,25 кВ·А/м².

Решение. При удельной плотности нагрузки 0,25 кВ·А/м² и суммарной нагрузке, которая более 4000 кВ·А, целесообразно применять цеховые трансформаторы мощностью 1600 кВ·А [24]. Минимальное количество цеховых трансформаторов по формуле (10.11)

$$N_{\min T} = \frac{8,6}{0,9 \cdot 1,6} + 0,1 = 6.$$

Таблица 10.6

Технические данные комплектных конденсаторных установок

Тип установки	Напря- жение, кВ	Мощ- ность, квар	Удельные потери, кВт/квар	Стоимость, тыс. руб.	
				оборудования	всего
Внутренняя установка					
ККУ-0,38-1	0,38	80	0,0045	0,77	1,08
ККУ-0,38-3	0,38	160	0,0045	1,53	1,92
ККУ-0,38-3 с БРВ-1	0,38	160	0,0045	1,68	2,08
ККУ-0,38-5	0,38	280	0,0045	2,33	2,96
ККУ-0,38-5 с БРВ-1	0,38	280	0,0045	2,48	3,13
ККУ-6-1	6	330	0,0030	1,60	2,16
ККУ-6-1 с БРВ-2	6	330	0,0030	1,74	2,31
ККУ-6-2	6	500	0,0030	2,35	3,06
ККУ-6-2 с БРВ-2	6	500	0,0030	2,50	3,23
ККУ-10-1	10	330	0,0030	1,62	2,18
ККУ-10-1 с БРВ-2	10	330	0,0030	1,76	2,33
ККУ-10-2	10	500	0,0030	2,36	3,07
ККУ-10-2 с БРВ-2	10	500	0,0030	2,50	3,23
Наружная установка					
КУН-6-2	6	420	0,003	2,06	2,22
КУН-6-2 с БРВ-2	6	420	0,003	2,20	2,37
КУН-10-2	10	400	0,003	2,16	2,32
КУН-10-2 с БРВ-2	10	400	0,003	2,30	2,47

Таблица 10.7
Технические данные конденсаторных установок

Тип установки	Напряже- ние, кВ	Номиналь- ная мощ- ность $Q_{\text{ном}}$ квар	Регулирование ступени	
			число, шт.	мощность, квар
УК-0,38-110 Н	0,3В	110	1	110
УК-0,38-150 Н	0,38	150	1	150
УК-0,38-220 Н	0,3В	220	2	110
УК-0,38-320 Н	0,38	320	3	110
УК-0,38-430 Н	0,3В	430	4	110
УК-0,3В-540 Н	0,3В	540	5	110
УК-0,38-300 НЛ, НП	0,38	300	2	150
УК-0,38-450 НЛ, НП	0,38	450	3	150
УК-0,38-600 НЛ, НП	0,38	600	4	150
УК-0,38-900 НЛ, НП	0,38	900	6	150

Экономически оптимальное количество трансформаторов по формуле (10.12)

$$N_{\text{т.з}} = 6 + 1 = 7.$$

Дополнительное число трансформаторов Δn определяется по графикам [5]. Оно равно 1.

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать через 7 трансформаторов, по формуле (10.8)

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(7 \cdot 0,9 \cdot 1,6)^2 - 8,6^2} = 5,26 \text{ Мвар.}$$

Мощность НБК по первому условию (10.7)

$$Q_{\text{н.к1}} = 7,1 - 5,26 = 1,84 \text{ Мвар.}$$

Дополнительная мощность НБК по условию потерь (10.10)

$$Q_{\text{н.к2}} = 7,1 - 1,84 - 0,4 \cdot 7 \cdot 1,6 = 0,76 \text{ Мвар.}$$

Здесь коэффициент γ_1 определяется из отношения (10.16), где K_1 выбирается по табл. 10.2 и принимается равным 12.

Суммарная мощность батарей конденсаторов по формуле (10.6)

$$Q_{\text{н.к}} = 1,84 + 0,76 = 2,6 \text{ Мвар.}$$

Технические характеристики конденсаторных установок приведены в табл. 10.6 и 10.7.

ГЛАВА 11

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

11.1. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Потери активной мощности в двухобмоточном трансформаторе

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{к.з}} \left(\frac{S_{\text{т}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{х.х}}, \quad (11.1)$$

реактивной

$$\Delta Q_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{н}} \left(\frac{S_{\text{т}}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta Q_{\text{х.х}}, \quad (11.2)$$

где $\Delta P_{\text{к.з}}$ — потери мощности короткого замыкания трансформатора (потери в обмотках) при номинальной нагрузке, кВт; $S_{\text{т}}$ — фактическая нагрузка трансформатора, кВ·А; $S_{\text{ном}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $\Delta P_{\text{х.х}}$ — потери мощности холостого хода трансформатора (потери в стали), кВт; $\Delta Q_{\text{н}}$ — потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке, квар:

$$\Delta Q_{\text{н}} = \frac{S_{\text{ном}} U_{\text{к}}}{100}, \quad (11.3)$$

$U_{\text{к}}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $\Delta Q_{\text{х.х}}$ — потери реактивной мощности в трансформаторе при холостом ходе (потери на намагничивание), квар:

$$\Delta Q_{\text{х.х}} = \frac{S_{\text{ном}} I_{\text{х.х}}}{100}, \quad (11.4)$$

$I_{\text{х.х}}$ — ток холостого хода трансформатора, %.

Потери электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе

$$\Delta A = \Delta P_{\text{к.з}} (\beta_{\text{т}})^2 \tau + \Delta P_{\text{х.х}} T, \quad (11.5)$$

где τ — число часов максимальных потерь (зависит от $T_{\text{мах}}$ и определяется по табл. 13.2); T — время работы трансформатора, ч.

При передаче по сети реактивной мощности во всех звеньях схемы питания появляются потери активной мощности, которые принято учитывать экономическим эквивалентом реактивной мощности K_3 . Значения K_3 приведены в табл. 11.1.

Приведенные потери мощности и энергии в трансформаторе:

$$\Delta P'_{\text{х.х}} = K_3 \Delta Q_{\text{х.х}} + \Delta P_{\text{х.х}}; \quad (11.6)$$

Таблица 11.1
Значения экономического эквивалента реактивной мощности

Характеристика трансформаторов и системы электроснабжения	K_3 , кВт/квар
Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин электростанции на генераторном напряжении	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от станций на генераторном напряжении	0,07
Понижительные трансформаторы 6—10 кВ, питающиеся от районных сетей	0,05
Понижительные трансформаторы, питающиеся от районных сетей, реактивная нагрузка которых покрывается синхронными компенсаторами	0,05

$$\Delta P'_{к.з} = K_3 \Delta Q_H + \Delta P_{к.з}; \quad (11.7)$$

$$\Delta A' = \Delta P'_{к.з} \left(\frac{S_T}{S_{ном}} \right)^2 \tau + P'_{х.х} T. \quad (11.8)$$

Пример 11.1. Определить потери мощности и энергии в трансформаторе типа ТМ мощностью 1,0 МВ·А, напряжением 10/0,4 кВ. Трансформатор включен круглый год, число часов максимальных потерь $\tau = 3500$ ч. Максимальная нагрузка трансформатора составляет 0,7 МВ·А при $\cos \varphi = 0,92$.

Решение. Технические данные трансформатора марки ТМ мощностью 1,0 МВ·А: $P_{к.з} = 12,2$ кВт; $\Delta Q_H = 53,6$ квар; $P_{х.х} = 2,45$ кВт; $\Delta Q_{х.х} = 14,0$ квар. Потери активной мощности находим по формуле (11.1):

$$\Delta P_T = 12,2 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 2,45 = 8,35 \text{ кВт.}$$

Потери реактивной мощности по формуле (11.2)

$$\Delta Q_T = 53,6 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 14 = 40,3 \text{ квар.}$$

Годовые потери активной энергии определим по формуле (11.5):

$$\Delta A = 12,2 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 \cdot 3500 + 2,45 \cdot 8760 = 42385 \text{ кВт·ч.}$$

По формулам (11.6—11.8) подсчитаем потери мощности и энергии в трансформаторе с учетом их увеличения при протекании реактивной мощности трансформатора (экономический эквивалент реактивной мощности $K_3 = 0,05$):

$$\Delta P'_{х.х} = 0,05 \cdot 14 + 2,45 = 3,15 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P'_{к.з} = 0,05 \cdot 53,6 + 12,2 = 14,88 \text{ кВт.}$$

Тогда на основании формулы (11.1)

$$\Delta P'_T = 14,88 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 3,15 = 10,44 \text{ кВт.}$$

Потери энергии за год по формуле (11.8)

$$\Delta A' = 14,88 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 \cdot 3500 + 3,15 \cdot 8760 = 53113 \text{ кВт·ч.}$$

11.2. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Значения токов короткого замыкания необходимо знать для выбора аппаратов, проверки элементов электроустановок на электродинамическую и термическую стойкость, для проектирования и настройки релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Расчет токов КЗ выполняют следующим образом:

выбирают расчетные условия и метод расчета;

для данной расчетной схемы составляют схему замещения;

приводят схему замещения к простейшему виду, т.е. определяют ре-

зультатирующее сопротивление;

определяют значения токов и мощностей короткого замыкания.

Расчетные условия зависят от назначения расчета. К ним относится установление расчетной схемы или расчетного режима, при котором токи КЗ будут максимальными или минимальными, выбор расчетной точки КЗ, а также расчетного момента времени переходного процесса КЗ.

При расчете токов КЗ используют один из двух методов: *метод относительных единиц* (все параметры схемы выражаются в долях или процентах от величины, принятой в качестве основной или базисной) или *метод именованных единиц* (параметры схемы выражаются в омах, амперах, вольтах и т.д.). Методом относительных единиц удобно пользоваться при расчете сложных электрических систем с несколькими ступенями трансформации. Методом именованных единиц удобнее вести расчет сравнительно простых электрических схем с небольшим числом ступеней трансформации, а также сетей напряжением 380/220 В.

На основании исходной расчетной схемы составляется схема замещения. Последняя выполняется в однолинейном изображении. Все элементы расчетной схемы обозначают эквивалентными сопротивлениями, которые определяются в относительных единицах по формулам (11.9) — (11.16).

Для системы (источника питания)

$$X_{*c} = \frac{S_6}{S_{к.с}} = \frac{I_6}{I_{к.с}}, \quad (11.9)$$

где S_6 — базисная мощность (принимается произвольно), МВ·А; $S_{к.с}$ — мощность короткого замыкания в точке присоединения электроустановки к системе, МВ·А; I_6 — базисный ток, кА. $I_{к.с}$ — ток короткого замыкания в точке присоединения электроустановок к системе, кА. Звездочка в индексе означает, что величина выражена в относительных единицах.

Для двухобмоточных трансформаторов

$$X_{*т} = \frac{U_k}{100} \frac{S_6}{S_{ном}}, \quad (11.10)$$

где U_K — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Для трехобмоточных трансформаторов

$$\begin{aligned} X_{*в} &= \frac{U_{к.в} S_б}{100 S_{н.в}}; \\ X_{*с} &= \frac{U_{к.с} S_б}{100 S_{н.с}}; \\ X_{*н} &= \frac{U_{к.н} S_б}{100 S_{н.н}} \end{aligned} \quad (11.11)$$

где $X_{*в}$, $X_{*с}$, $X_{*н}$ — сопротивления обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений; $U_{к.в}$, $U_{к.с}$, $U_{к.н}$ — напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений, %; $S_{н.в}$, $S_{н.с}$, $S_{н.н}$ — мощности обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений, МВ·А.

Для линий (воздушных, кабельных)

$$X_{*л} = X_0 l \frac{S_б}{U_{ср}^2}; \quad (11.12)$$

$$R_{*л} = R_0 l \frac{S_б}{U_{ср}^2}, \quad (11.13)$$

где X_0 и R_0 — соответственно реактивное и активное сопротивления одного километра линии, Ом/км (определяется из прил. 17–20); l — длина линии, км; $U_{ср}$ — среднее напряжение ступени (принимается $U_{ср} = 1,05 U_{ном}$), кВ.

Для реакторов

$$X_{*р} = \frac{X_p I_б U_{ном}}{100 I_{ном} U_б}, \quad (11.14)$$

где X_p — реактивное сопротивление реактора, %; $I_{ном}$ — номинальный ток реактора, кА; $I_б$ — базисный ток, кА;

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б}, \quad (11.15)$$

$U_б$ — базисное напряжение (принимается равным номинальному той ступени трансформаций, где определяется ток КЗ), кВ.

Для синхронных генераторов, асинхронных и синхронных двигателей и компенсаторов

$$X_{*г(д,к)} = X''_d \frac{S_б}{S_{ном}}, \quad (11.16)$$

где X''_d — сверхпереходное реактивное сопротивление в продольной оси, отнесенное к номинальным условиям; $S_{ном}$ — номинальная мощность машины, МВ·А.

При упрощении схемы замещения используют методы преобразования. Так, при последовательном соединении элементов результирующее сопротивление

$$X_{рез} = X_1 + X_2 + \dots + X_n, \quad (11.17)$$

где $X_1, X_2, \dots, X_n$ — сопротивления элементов схемы замещения.

При параллельном соединении

$$X_{рез} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}. \quad (11.18)$$

При расчете токов КЗ определяются следующие величины:

I'' — начальное действующее значение периодической слагающей тока КЗ (начальное значение сверхпереходного тока КЗ); i_y — мгновенное значение ударного тока КЗ, необходимое для проверки электрических аппаратов, шин и изоляторов на электродинамическую стойкость;

I_y — наибольшее действующее значение полного тока КЗ, необходимое для проверки электрических аппаратов на динамическую стойкость в течение первого периода процесса КЗ;

I_∞ — действующее значение установившегося тока КЗ, по которому проверяют электрические аппараты, шины, проходные изоляторы и кабели на термическую стойкость;

S_K — мощность КЗ для проверки отключающей способности выключателей.

Способы расчета токов короткого замыкания в относительных единицах.

1. Расчет токов короткого замыкания по расчетным кривым. Способ применяется для любого момента времени при относительно небольшой электрической удаленности точки КЗ.

Расчет ведется в следующей последовательности:

- задаются базисными величинами $S_б$ и $U_б$;
- составляется схема замещения;
- подсчитывается суммарное результирующее сопротивление $X_{*рез}$ относительно точки КЗ;
- определяется расчетное сопротивление $X_{*расч}$ по формуле

$$X_{*расч} = X_{*рез} \frac{\sum S_{ном}}{S_б}, \quad (11.19)$$

где $\Sigma S_{\text{ном}}$ — суммарная номинальная мощность источников питания, МВ·А;

д) по графику (рис. 11.1) определяется кратность периодической слагающей тока короткого замыкания K_t (в относительных единицах) для нужного момента времени t от начала возникновения КЗ;

е) подсчитывается периодическая слагающая тока КЗ (кА) по формуле

$$I_t = K_t \Sigma I_{\text{ном.сист}} \quad (11.20)$$

где $\Sigma I_{\text{ном.сист}}$ — суммарный ток источника питания, кА:

$$\Sigma I_{\text{ном.сист}} = \frac{\Sigma S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (11.21)$$

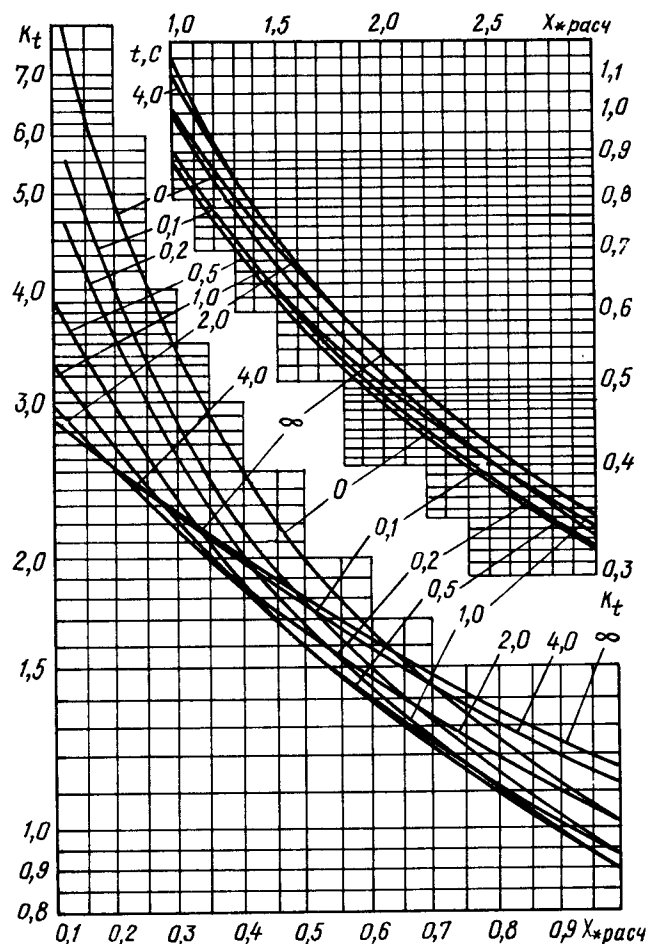


Рис. 11.1. Кратность периодической составляющей тока трехфазного КЗ при питании от турбогенератора с АРВ

Если $X_{*расч} > 3$, то значение относительного тока для всех моментов времени считается постоянным, т.е.

$$I''_* = I_{*∞} = I_{*к} = \frac{1}{X_{*расч}} \quad (11.22)$$

или в килоамперах абсолютное значение

$$I_k = \frac{\Sigma I_{\text{ном.сист}}}{X_{*расч}} = I_{*к} I_{\text{ном.сист}}; \quad (11.23)$$

ж) определяется мощность КЗ для момента t :

$$S_t = K_t \Sigma S_{\text{ном.сист}} \quad (11.24)$$

а при $X_{*расч} > 3$

$$S_t = S_k = \frac{\Sigma S_{\text{ном.сист}}}{X_{*расч}} = \frac{S_6}{X_{*рез}} \quad (11.25)$$

2. Расчет тока КЗ от источника бесконечной мощности. В этом случае $S_{\text{сист}} = \infty$ и $X_{\text{сист}} = 0$. Точка КЗ имеет большую электрическую удаленность от источника питания и напряжение его не изменяется.

Порядок расчета следующий:

- задаются базисными условиями S_6 и U_6 ;
- составляется схема замещения;
- подсчитывается суммарное результирующее сопротивление $X_{*рез}$ относительно точки КЗ;
- определяются ток и мощность короткого замыкания по формулам:

$$I_k = \frac{I_6}{X_{*рез}}; \quad (11.26)$$

$$S_k = \frac{S_6}{X_{*рез}}; \quad (11.27)$$

$$i_v = 2,55 I_k. \quad (11.28)$$

Расчет токов КЗ в распределительной сети 10 кВ в именованных единицах. Если в предыдущей точке K_1 ток КЗ уже определен, то в этом случае расчет ведется в следующей последовательности:

- по известному току трехфазного КЗ в точке K_1 $I_{\infty K-1}^{(3)}$ определяется реактивное сопротивление системы

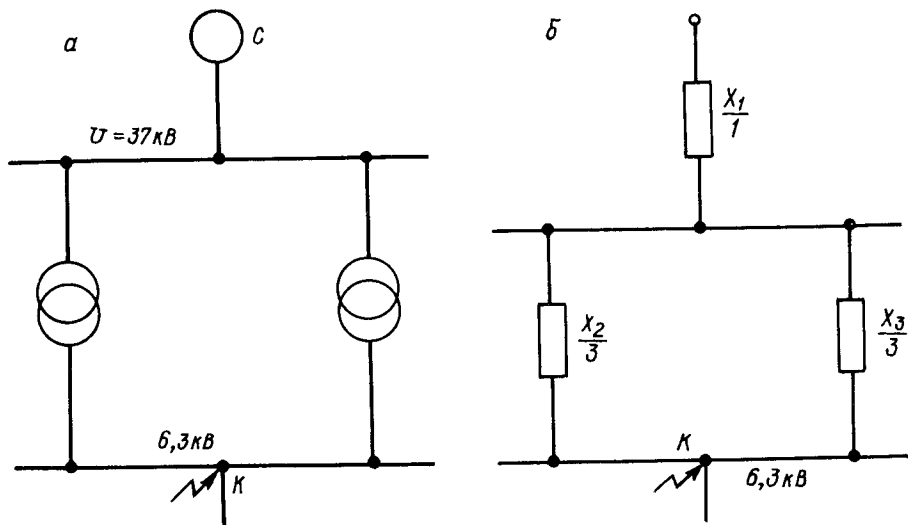


Рис. 11.2. Расчетная схема (а) и схема замещения (б) к примеру 11.2

$$X_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{\infty K-1}^{(3)}} \quad (11.29)$$

где U принимается равным 10,5 кВ;

б) реактивное и активное сопротивление линии до точки КЗ находят по формулам:

$$X = X_0 l, \quad (11.30)$$

$$R = R_0 l; \quad (11.31)$$

в) полное сопротивление до точки КЗ

$$Z = \sqrt{(X_c + X)^2 + R^2}; \quad (11.32)$$

г) установившийся ток трехфазного КЗ на шинах потребителя

$$I_{\infty K-2}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (11.33)$$

Пример 11.2. Определить мощность и ток КЗ на шинах 6,3 кВ понижающей подстанции напряжением 35/6,3 кВ. Мощности КЗ на стороне 35 кВ $S_K = 400$ МВ·А. Мощности трансформаторов $S_T = 2 \times 10$ МВ·А; $U = 7,5\%$.
Решение. а) Принимаем $S_G \approx 400$ МВ·А и $U_G = 6,3$ кВ; по формуле (11.15) базисный ток

$$I_G = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 36,7 \text{ кА};$$

б) на основании расчетной схемы (рис. 11.2, а) составляем схему замещения (рис. 11.2, б). На схеме сопротивления отмечены порядковыми номерами и указаны в числителе дроби. В знаменателе указаны их числовые значения;

в) сопротивление системы по формуле (11.9)

$$X_{*1} = X_{*c} = \frac{400}{400} = 1;$$

г) сопротивление трансформатора по формуле (11.10)

$$X_{*2} = X_{*3} = X_{*T} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{400}{10} = 3;$$

д) на основании формул (11.17) и (11.18) результирующее сопротивление

$$X_{*рез} = X_{*1} + \frac{X_{*2} \cdot X_{*3}}{X_{*2} + X_{*3}} = 1 + \frac{3 \cdot 3}{3+3} = 2,5;$$

е) по формуле (11.26) ток КЗ

$$I_K = \frac{36,7}{2,5} = 14,7 \text{ кА};$$

ж) мгновенное значение ударного тока КЗ по формуле (11.28)

$$i_y = 2,55 \cdot 14,7 = 37,5 \text{ кА};$$

з) мощность КЗ в точке K_1 по формуле (11.27)

$$S_K = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ МВ·А}.$$

Пример 11.3. Определить ток КЗ на шинах РУ понизительной подстанции 10 кВ, если известно: $I_{K.C.} = 4,5$ кА; $S_G = 100$ МВ·А; длина линии 10 кВ $l = 0,5$ км (рис. 11.3, а)

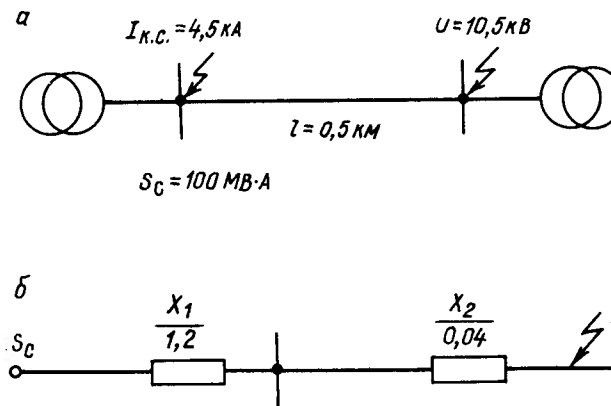


Рис. 11.3. Расчетная схема (а) и схема замещения (б) к примеру 11.3

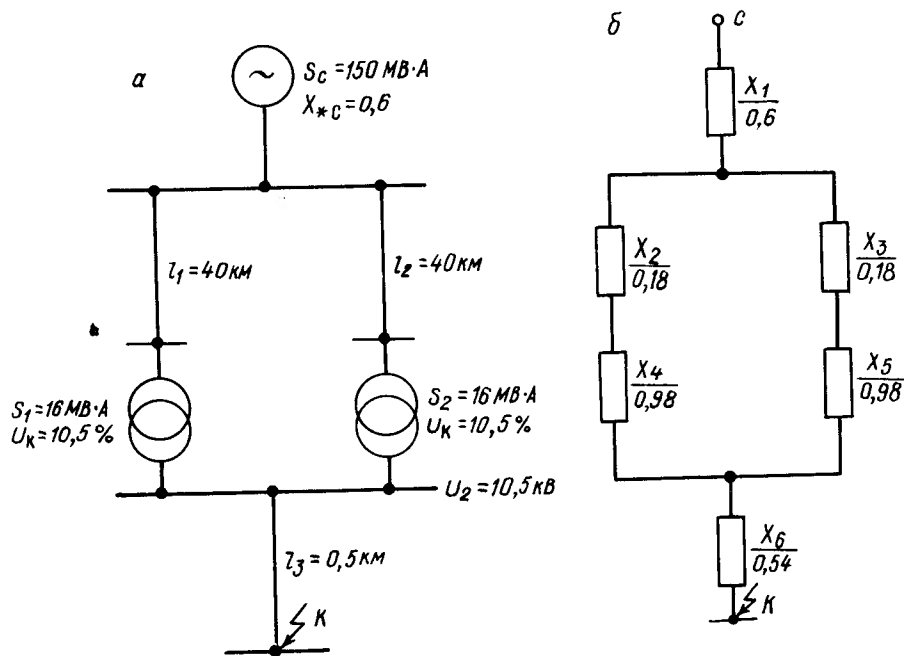


Рис. 11.4. Расчетная схема (а) и схема замещения (б) к примеру 11.4

Решение. а) Задаемся базисными условиями: $S_6 = 100 \text{ MB} \cdot \text{A}$; $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$;
 б) составляем схему замещения (рис. 11.3, б);
 в) базисный ток определяем по формуле (11.15):

$$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА};$$

г) сопротивление системы по формуле (11.9)

$$X_{*1} = \frac{5,5}{4,5} = 1,2;$$

д) сопротивление кабельной линии по формуле (11.12)

$$X_{*2} = 0,08 \cdot 0,5 \left(\frac{100}{10,5^2} \right) = 0,04;$$

е) результирующее сопротивление по формуле (11.17)

$$X_{*рез} = X_{*1} + X_{*2} = 1,2 + 0,04 = 1,24;$$

ж) ток КЗ в точке К по формуле (11.26)

$$I_K = \frac{5,5}{1,24} = 4,4 \text{ кА};$$

з) ударный ток КЗ в точке К по формуле (11.28)

$$i_y = 2,55 \cdot 4,4 = 11,2 \text{ кА}.$$

Пример 11.4. Для системы с условиями, указанными на схеме (рис. 11.4, а), определить ток и мощность КЗ в точке К.

Решение. а) Задаемся базисными условиями:

$$S_6 = S_C = 150 \text{ MB} \cdot \text{A}; U_{61} = 115 \text{ кВ}; U_{62} = 10,5 \text{ кВ};$$

б) составляем схему замещения (рис. 11.4, б);

в) приводим сопротивления элементов системы к базисным условиям. По формуле (11.12)

$$X_{*2} = X_{*3} = 0,440 \cdot \frac{150}{115^2} = 0,18.$$

Сопротивление двухобмоточного трансформатора по выражению (11.10)

$$X_{*4} = X_{*5} = \frac{10,5 \cdot 150}{100 \cdot 16} = 0,98.$$

Сопротивление кабеля по формуле (11.12)

$$X_{*6} = 0,08 \cdot 0,5 \cdot \frac{150}{10,5^2} = 0,054;$$

г) результирующее сопротивление

$$\begin{aligned} X_{*рез} &= X_{*1} + \frac{X_{*2} + X_{*4}}{2} + X_{*6} = \\ &= 0,6 + \frac{0,18 + 0,98}{2} + 0,054 = 1,23; \end{aligned}$$

д) базисный ток системы по формуле (11.15)

$$I_6 = \frac{150}{1,73 \cdot 10,5} = 8,3 \text{ кА};$$

е) ток КЗ в точке К по формуле (11.26)

$$I_K = \frac{8,3}{1,23} = 6,74 \text{ кА};$$

ж) ударный ток КЗ в точке К по формуле (11.28)

$$i_y = 2,55 \cdot 6,74 = 17,18 \text{ кА};$$

з) мощность трехфазного КЗ вычисляется по формуле (11.27):

$$S_K = \frac{150}{1,23} = 121,9 \text{ MB} \cdot \text{A}.$$

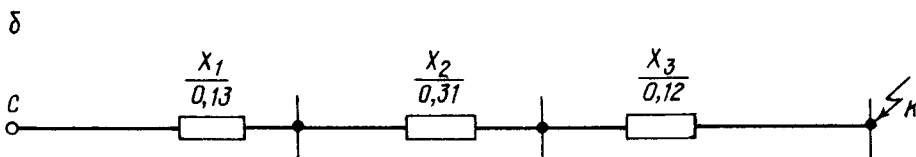
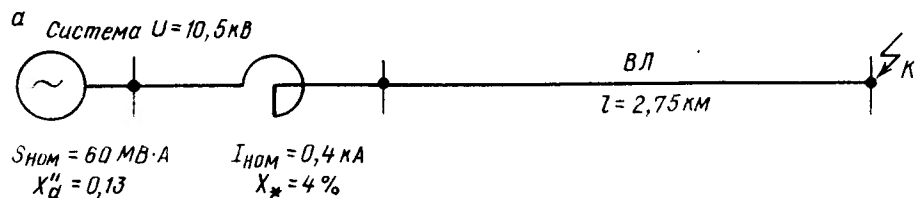


Рис. 11.5. Расчетная схема (а) и схема замещения (б) к примеру 11.5

Пример 11.5. Определить по расчетным кривым токи I'' через $t = 0,2; 0,5; 2 \text{ с}$ соответственно $I_{0,2}; I_{0,5}; I_2$ и I_{∞} при трехфазном КЗ в точке К при наличии автоматического регулятора напряжения (АРН) у генератора (рис. 11.5, а).

Для линии: $X_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$; $l = 2,75 \text{ км}$.

Для реактора: $I_N = 0,4 \text{ кА}$; $X = 4 \%$.

Для системы: $S_{\text{ном}} = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$; $I_{\text{ном}} = 3,3 \text{ кА}$; $X''_d = 0,13$.

Решение. а) Задаемся базисными условиями: $S_6 = S_{\text{ном.г}} = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $U_6 = U_{\text{ср}} = 10,5 \text{ кВ}$.

Базисный ток по формуле (11.15) $I_6 = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3,3 \text{ кА}$;

б) составляем схему замещения (рис. 11.5, б);

в) относительные сопротивления, приведенные к базисным условиям:

для генератора по формуле (11.16) $X_{*1} = \frac{0,13 \cdot 60}{60} = 0,13$;

для реактора по формуле (11.14) $X_{*2} = \frac{4,3 \cdot 3 \cdot 10}{100 \cdot 0,4 \cdot 10,5} = 0,31$;

для кабеля по формуле (11.12) $X_{*3} = \frac{60}{10,5^2} \cdot 0,08 \cdot 2,75 = 0,12$;

г) результирующее сопротивление по формуле (11.17)

$$X_{*\text{рез}} = 0,13 + 0,31 + 0,12 = 0,56;$$

д) расчетное сопротивление по формуле (11.19)

$$X_{*\text{расч}} = \frac{60}{0,56 \cdot 60} = 0,56.$$

По рис. 11.1 при $X_{*\text{расч}} = 0,56$ и по заданным моментам времени t находим значение токов в относительных единицах. Умножив их на $I_{\text{ном}} = 3,3 \text{ кА}$, получим исходные токи КЗ. Результаты сводим в табл. 11.2.

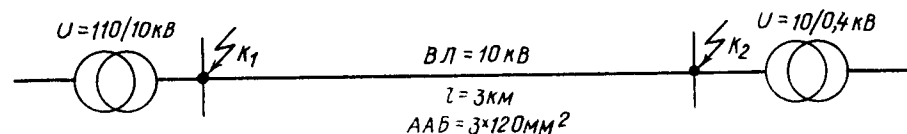


Рис. 11.6. Расчетная схема к примеру 11.6

Таблица 11.2
Результаты расчетов

Время, с	Значения токов короткого замыкания I_K	
	в относительных единицах	в килоамперах
0	1,79	5,90
0,2	1,50	4,95
0,5	1,44	4,75
2,0	1,55	5,11
∞	1,71	5,65

Пример 11.6. Определить ток КЗ в точке K_2 (рис. 11.6) на шинах 10 кВ заводского РУ-10 кВ. Ток трехфазного КЗ на шинах 10 кВ (в точке K_1) ПС 110/10 кВ $I_{\infty}^{(3)} = 9,6 \text{ кА}$. Длина трассы кабельной линии от ПС 110/10 кВ до РУ-10 кВ — 3 км; марка кабеля ААБ-10 кВ (3x120).

Решение. Расчет ведем в именованных единицах:

а) реактивное сопротивление системы по формуле (11.29)

$$X_c = \frac{10,5}{1,732 \cdot 9,6} = 0,631 \text{ Ом};$$

б) сопротивления кабельной линии 10 кВ по формулам (11.30) и (11.31): $X = 0,081 \cdot 3 = 0,243 \text{ Ом}$; $R = 0,261 \cdot 3 = 0,783 \text{ Ом}$;

в) полное сопротивление до точки К по формуле (11.32)

$$Z = \sqrt{(0,631 + 0,243)^2 + 0,783^2} = 1,173 \text{ Ом};$$

г) ток КЗ в точке K_2 по формуле (11.33)

$$I_{\infty K-2}^{(3)} = \frac{10,5}{1,732 \cdot 1,173} = 5,17 \text{ кА}.$$

11.3. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с "Правилами устройства электроустановок" все электрические аппараты, изоляторы, токоведущие устройства должны быть выбраны по каталогам, исходя из условий длительного нормального режима работы электроустановки, и проверены на термическую и электродинамическую стойкость по режиму максимальных токов КЗ. В табл. 11.3–11.8 приведены условия для выбора и проверки отдельных аппаратов напряжением выше 1000 В.

Таблица 11.3
Условия выбора масляных выключателей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} > U_{ном.у}$
Номинальный ток, А	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Номинальный ток отключения, кА	$I_{ном.откл}$	I''	$I_{ном.откл} > I''$
Номинальная мощность отключения, МВ·А	$S_{ном.откл}$	S''	$S_{ном.откл} > S''$
Динамическая стойкость, кА	i_m	i_y	$i_m > i_y$
Термическая стойкость, кА ² ·с	I_t	I_∞	$I_t^2 t > I_\infty^2 t_p$

Таблица 11.4
Условия выбора предохранителей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, В	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} > U_{ном.у}$
Номинальный ток, А	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Номинальная отключаемая мощность, МВ·А	$S_{ном.откл}$	S''	$S_{ном.откл} > S''$
Номинальный отключаемый ток, кА	$I_{ном.откл}$	I''	$I_{ном.откл} > I''$

Таблица 11.5
Условия выбора разъединителей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} > U_{ном.у}$
Номинальный длительный ток, А	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Динамическая стойкость, кА	i_m	i_y	$i_m > i_y$
Термическая стойкость, кА ² ·с	I_t	I_∞	$I_t^2 t > I_\infty^2 t_p$

Таблица 11.6
Условия выбора выключателей нагрузки

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, В	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} > U_{ном.у}$
Номинальный ток неавтоматического отключающего устройства, кА	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Допустимое наибольшее действующее значение полного тока КЗ, кА	$I_{у.д}$	I_y	$I_{у.д} > I_y$
Динамическая стойкость, кА	i_m	i_y	$i_m > i_y$
Термическая стойкость (без предохранителей) кА ² ·с	I_t	I_∞	$I_t^2 t > I_\infty^2 t_p$
Номинальный ток предохранителя, А	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Номинальный отключаемый ток предохранителя, кА	$I_{ном.а}$	I''	$I_{ном.а} > I''$
Номинальная отключаемая мощность предохранителя, МВ·А	$S_{ном.а}$	S''	$S_{ном.а} > S''$

Таблица 11.7
Условия выбора трансформаторов тока

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} > U_{ном.у}$
Номинальный длительный ток, А	$I_{ном.а}$	I_p	$I_{ном.а} > I_p$
Электродинамическая стойкость, кА	K_d	i_y	$K_d \sqrt{2} I_{ном} > i_y$
Термическая стойкость (односекундная), кА ² ·с	K_t	I_∞	$(K_t I_{ном})^2 t > I_\infty^2 t_p$

Как видно из табл. 11.3, термическая стойкость аппарата обеспечивается, если количество тепла, выделенное током КЗ, не превышает допустимой для данного аппарата величины.

Ток I_t есть предельный ток термической стойкости который в течение времени t (в каталогах дается 5 или 10 с) нагревает аппарат до температуры, допустимой в кратковременном режиме.

Таблица 11.В
Условия выбора изоляторов

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{\text{ном.а}}$	$U_{\text{ном.у}}$	$U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.у}}$
Номинальный ток, А	$I_{\text{ном.а}}$	$I_{\text{р}}$	$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р}}$
Допустимое усилие на головку изолятора, Н	$F_{\text{доп}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$
Допустимый ток термической стойкости для проходных изоляторов и линейных выводов, кА	$I_{\text{н.т.у}}$	I_{∞}	$I_{\text{н.т.у}} \geq I_{\infty}$

Предельное время $t_{\text{п}}$ — это время, в течение которого установившийся ток I_{∞} выделяет такое же количество тепла, как и изменяющийся во времени ток КЗ за действительное время короткого замыкания $t_{\text{д}}$:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{з}} + t_{\text{в}}, \quad (11.34)$$

где $t_{\text{з}}$ — время действия защиты, с; $t_{\text{в}}$ — время действия выключателя, с.

Приведенное время

$$t_{\text{п}} = t_{\text{п.п}} + t_{\text{п.а}}, \quad (11.35)$$

где $t_{\text{п.п}}$ — приведенное время действия периодической слагающей тока КЗ; $t_{\text{п.а}}$ — то же, но аperiodической слагающей тока КЗ.

$t_{\text{п.п}} = f(\beta'', t_{\text{д}})$ и определяется по [12],

$$\text{где } \beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}}, \quad (11.36)$$

При питании от системы неограниченной мощности

$$t_{\text{п.п}} = t_{\text{д}}, \quad (11.37)$$

Приведенное время $t_{\text{п.а}} = 0,05\beta''^2$. При $t_{\text{д}} > 1$ с $t_{\text{п.а}}$ можно пренебречь.

Кратности динамической $K_{\text{д}}$ и термической стойкости $K_{\text{т}}$ приводятся в справочной литературе в зависимости от типа трансформатора тока. Катушечные трансформаторы тока типа ТК на динамическую и термическую стойкость не проверяются. При выборе трансформаторов тока учитывается класс точности и проверяется нагрузка вторичной цепи S_2 .

Наибольшая расчетная нагрузка на головку опорного изолятора

$$F_{\text{расч.оп}} = 1,76i_y^2 \frac{l}{a_0} \cdot 9,81 \cdot 10^{-2},$$

где l — пролет между изоляторами, м; a_0 — расстояние между осями шин, закрепленных на изоляторах, м.

Для проходных изоляторов $F_{\text{расч.пр}} = 0,5F_{\text{расч.оп}}$.

11.4. РАСЧЕТ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Расчет площади сечения проводов и кабелей питающей и распределительной сети 6–10 кВ производится в следующем порядке:

1) *выбор по экономической плотности тока*. Его выполняют по формуле (В.2), полученное значение округляется до ближайшего стандартного;

2) *проверка на термическую стойкость токам трехфазного короткого замыкания*. Минимальная площадь сечения кабеля определяется по формуле

$$S = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\text{п}}}}{C}, \quad (11.38)$$

где I_{∞} — установившийся ток короткого замыкания, А; $t_{\text{п}}$ — приведенное время, с; C — коэффициент, соответствующий разности выделенного тепла в проводнике до и после короткого замыкания (для кабелей с алюминиевыми жилами $C = 85$ [24]);

3) *проверка по нагреву в нормальном и аварийном режимах*. При проверке пользуются справочными таблицами предельно допустимых токов, составленными для различных марок проводов и условий прокладки (табл. В.1–В.3);

4) *проверка по потере напряжения*. Величина потери напряжения в трехфазной линии переменного тока определяется из выражения

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{\text{р}} (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi) l, \quad (11.39)$$

где $I_{\text{р}}$ — расчетный ток линии, А; R_0 — активное сопротивление линии, Ом/км; X_0 — индуктивное сопротивление линии, Ом/км; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности в конце линии.

После проведения всех расчетов окончательно кабель выбирается по наиболее тяжелому режиму.

При необходимости выбора двух и более кабелей 6–10 кВ результаты их расчета следует сводить в таблицу (табл. 11.9, 11.10).

Пример 11.7. Выбрать марку и площадь сечения кабелей длиной 0,6 км, питающих по схеме двояной магистрали две двухтрансформаторные подстанции (рис. 11.7). Мощность каждого трансформатора $S_{\text{ном}} = 1600$ кВ·А. Напряжение 10/0,4 кВ. Данные трансформаторов типа ТМ: $\Delta P_{\text{х.х}} = 2,8$ кВт; $\Delta P_{\text{к.з}} = 18$ кВт; $I_{\text{х.х}} = 1,3$ %; $U_{\text{к.з}} = 5,5$ %.

Предприятие относится к потребителям 1-й категории, работает в 3 смены. Приведенное время КЗ $t_{\text{п}} = 0,75$ с. Мощность КЗ в точке присоединения кабелей к системе $S_{\text{к}} = 200$ МВ·А.

Расчетные активные нагрузки $P_{\text{р}}$ и реактивные $Q_{\text{р}}$ трансформаторов на стороне 0,4 кВ представлены в табл. 11.9.

Решение. Потеря активной мощности в трансформаторе Т1 определяется по формуле (11.1):

$$\Delta P_{\text{Т1}} = 18 \cdot \left(\frac{1253}{1600} \right)^2 + 2,8 = 13,8 \text{ кВт.}$$

Таблица 11.9
Результаты расчета нагрузок

Трансформаторы	Расчетные нагрузки трансформатора на стороне 0,4 кВ			Потери мощности в трансформаторах		Полные расчетные нагрузки на стороне 10 кВ	
	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар	$P_{p.п'}$, кВт	$Q_{p.п'}$, квар
1-я подстанция							
T1	1100	600	1253	13,8	74,7	1113,8	674,7
T2	990	560	1137	11,9	64,8	1001,9	624,8
2-я подстанция							
T1	1010	390	1083	11,0	61,1	1021,0	451,1
T2	900	400	985	9,6	54,1	909,6	454,1

Потеря реактивной мощности в том же трансформаторе в соответствии с формулами (11.2) и (11.3):

$$\Delta Q_{T1} = \frac{1600 \cdot 5,5}{100} \cdot \left(\frac{1253}{1600} \right)^2 + \frac{1600 \cdot 1,3}{100} = 74,7 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность трансформатора определяется по формуле (7.15). Для трансформатора T1

$$S_{p1} = \sqrt{1100^2 + 600^2} = 1253 \text{ кВ·А.}$$

Для остальных трансформаторов полные нагрузки и потери определяются аналогично и результаты заносятся в табл. 11.9. Полные нагрузки на стороне 10 кВ получаются путем сложения нагрузки трансформатора на стороне 0,4 кВ с потерей мощности в нем.

Расчетные нагрузки на участке линии представлены в табл. 11.10.

Таблица 11.10
Результаты выбора площади сечения жил кабелей

Участки линии	Расчетная нагрузка на участке в нормальном режиме				$S_{эк}$, мм ²	Число жил и площадь сечения кабеля, мм ²
	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	I_p , А		
L_1	2134,8	1125,8	2413	139	116	3x120
L_2	1911,5	1078,9	2195	127	106	3x120
L_3	1021,0	451,1	1116	64	54	3x50
L_4	909,6	454,1	1016	59	49	3x50

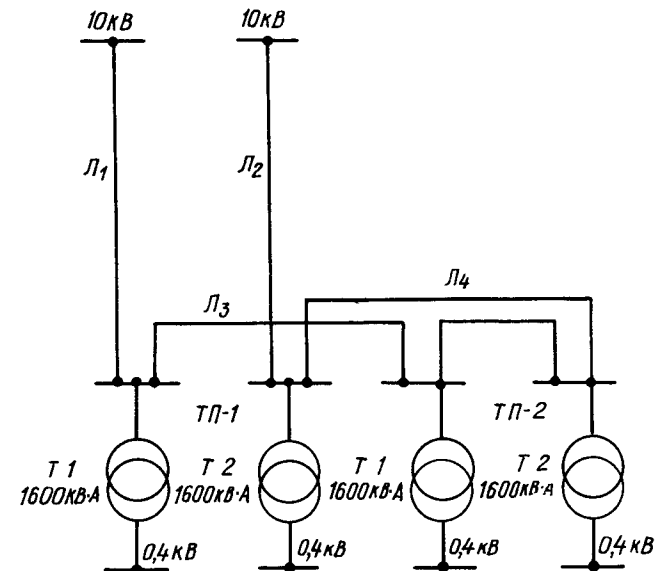


Рис. 11.7. Схема питания завода к примеру 11.7

При этом на участке линии L_1 расчетная нагрузка в нормальном режиме складывается из мощностей трансформаторов T1 первой и второй подстанций, а нагрузка линии L_2 — из суммы мощностей трансформаторов T2 этих же подстанций. Нагрузки кабелей L_3 и L_4 равны мощностям трансформаторов, питающих эти линии. Аналогично определяем реактивные нагрузки и полные расчетные мощности для всех участков линий. Расчетный ток в линии определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (11.40)$$

Длительность допустимый ток, А	Расчетная нагрузка в послеаварийном режиме				Окончательно выбранная площадь сечения, мм ²
	$P_{p.ав}$, кВт	$Q_{p.ав}$, квар	$S_{p.ав}$, кВ·А	$I_{p.ав}$, А	
240	4045,8	2204,7	4608	266	3x120
240	4045,8	2204,7	4608	266	3x120
140	1930,0	905,2	2132	123	3x50
140	1930,0	905,2	2132	123	3x50

Для линии Π_1

$$I_p = \frac{2413}{\sqrt{3} \cdot 10} = 139 \text{ A.}$$

Аналогично вычисляются расчетные токи для линий $\Pi_2 - \Pi_4$.

Выбор площадей сечений питающих кабелей производится по экономической плотности тока при нормальном режиме работы схемы.

Экономическая площадь сечения кабеля для линии Π_1 определяется по формуле (8.4). Экономическая плотность тока определяется по табл. 8.4 и принимается $j_{эк} = 1,2 \text{ A/мм}^2$

$$S_{эк} = \frac{139}{1,2} = 116 \text{ мм}^2.$$

Аналогично подсчитывается экономическая площадь сечения кабеля и на других участках линии. По табл. 8.3 выбирается стандартная площадь сечения кабеля 120 мм^2 . По этой же таблице определяется длительно допустимый ток для кабеля с алюминиевыми жилами 120 мм^2 .

Кабели должны быть проверены по условиям допустимого нагрева при наиболее тяжелых послеаварийных режимах. При отключении линии Π_2 на кабель Π_1 , кроме собственной, придется дополнительная нагрузка, которую раньше выполняла линия Π_2 , поэтому эти нагрузки складываются (табл. 11.10). В таком же порядке рассматриваются нагрузки на другие участки линий в послеаварийном режиме. Аналогично определяются реактивные и полные нагрузки и расчетный ток в каждой линии в этом режиме. Из расчета видно, что выбранные кабели в линиях Π_1 и Π_2 оказываются несколько перегруженными в аварийном режиме по сравнению с длительно допустимым током. Однако нужно учесть, что ПУЭ [15] допускают перегрузку кабелей на 20 % в течение 6 ч на период ликвидации аварии, поэтому площадь сечения их не завышается и принимаются ранее выбранные кабели марки ААБ.

Выбранный кабель необходимо проверить на термическую стойкость действию тока короткого замыкания. По формуле (11.15)

$$I_6 = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 11,0 \text{ кА.}$$

Принимаем $S_6 = S_K = 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}$. Тогда сопротивления системы по формуле (11.9)

$$X_{*с} = \frac{200}{200} = 1.$$

Сопротивление линии определяется по формуле (11.12):

$$X_{*л} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{200}{10,5^2} = 0,09.$$

Результирующее сопротивление

$$X_{*рез} = X_{*с} + X_{*л} = 1 + 0,09 = 1,09.$$

Установившийся ток КЗ в конце линии Π_1 определяется по формуле (11.26):

$$I_{\infty} = \frac{11}{1,09} = 10 \text{ кА.}$$

Минимальная площадь сечения жил питающего кабеля по термической стойкости рассчитывается по формуле (11.38):

$$S = \frac{10000 \sqrt{0,75}}{85} = 101,8 \text{ мм}^2.$$

Из полученного результата видно, что выбранный ранее кабель линии Π_1 с площадью сечения $3 \times 120 \text{ мм}^2$ проходит по условию термической стойкости действия тока (12).

Проверка на термическую стойкость кабелей Π_2 , Π_3 и Π_4 производится аналогично. Все результаты расчетов заносятся в табл. 11.10.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.
ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В этом разделе дипломного проекта необходимо описать приня-
тую систему организации планово-предупредительного ремонта (ППР) на про-
ектируемом предприятии и организацию электроремонтной мастерской, а так-
же структуру управления энергослужбой. Кроме того, в проекте необходимо
отразить виды и объем ремонтов, особенности его проведения, а также соста-
вить график ППР электрооборудования цеха. Согласно ЕС ППР оборудования
для силового электрооборудования предусматриваются три вида планово-
го ремонта: малый, средний и капитальный.

Малый ремонт сводится в основном к выполнению следующих работ: ревизии и чистке агрегатов, ремонту или замене небольшого количества отдельных деталей, сборке, регулировке и испытанию агрегатов.

Средний ремонт является более сложным видом планового ремонта. В него входит частичная разборка электрических машин, аппаратов и других агрегатов или их узлов, ремонт или замена изношенных деталей, срок службы которых меньше периода между двумя средними ремонтами, сборка, регулировка агрегата и испытание его под нагрузкой. В объем среднего ремонта электрооборудования входят также все операции малого ремонта.

Таблица 12.1
Годовой график ремонта электрооборудования и сетей КТП-250 кВ·А на

Оборудование	Тип оборудования	Год поступления на предприятие	Нормы трудоемкости, чел:ч	Продолжительность, мес			Вид и дата последнего ремонта
				ремонтного периода	осмотрового периода	ремонтного цикла	
1. Силовой трансформатор	ТМ-250	1983	40	36	1	144	T; XII/86
2. РУ (ввод) высокого напряжения	Комп - лектно с КТП	1983	8	12	1	36	K; XII/86
3. Распределительный щит низкого напряжения	То же	1983	20	12	—	120	T; VII/86
4. Кабель высокого напряжения 200 м по стене	ААБ-10 кВ (3х35) мм ²	1985	4	12	12	240	—

Прежде чем составлять график ППР, необходимо выяснить структуру электрооборудования проектируемого цеха и перечислить его в годовом плане ремонта электрооборудования. Тип оборудования, год поступления его на предприятие, вид и дата последнего ремонта выбираются по данным предприятия, на котором учащийся проходил преддипломную практику. Виды ремонтов и обслуживания электрооборудования определяются по [18]. Для оценки особенностей ремонта электротехнического оборудования не рекомендуется пользоваться категориями сложности ремонта. Их применяют при определении ремонтных нормативов для технологического оборудования. При расчетах электрооборудования используются нормы трудоемкости.

Продолжительность межремонтных периодов и ремонтных циклов электрооборудования указана в табл. 12.1. Структура ремонтного цикла представляет собой перечень и последовательность выполнения ремонтных работ в период между капитальными ремонтами или между вводом в эксплуатацию и первым капитальным ремонтом. Межремонтным периодом называется период работы оборудования между двумя плановыми ремонтами.

Планируемые ремонты электрооборудования в табл. 12.1 обозначены буквами Т и К (текущий и капитальный ремонты).

1990 год

Планируемый вид ремонта оборудования по месяцам											
ян- варь	фев- раль	март	ап- рель	май	июнь	июль	август	сен- тябрь	ок- тябрь	но- ябрь	де- кабрь
											T
							K				T
					T						

12.2. ОБСЛУЖИВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Эксплуатация осветительных установок (ОУ) должна осуществляться при минимальных расходах трудовых и энергетических ресурсов, а также с сохранением на проектном уровне показателей освещения. Выполнение этих задач возложено на службу эксплуатации, в функции которой входят: а) прием по акту в эксплуатацию новых ОУ; б) периодическая чистка светильников света; в) замена перегоревших ламп; г) организация и проведение ремонта ОУ; д) организация мастерских для ремонта ОУ; е) периодические обходы и осмотры ОУ и устранение замеченных недостатков; ж) профилактические испытания изоляции электропроводок и заземления ОУ; з) проведение фотометрических измерений; и) своевременная окраска помещений в规定的 тона и чистка окон; к) контроль режима включения и выключения ламп; л) участие во внедрении централизованного управления ОУ; м) снижение эксплуатационных расходов на освещение; н) обеспечение средствами доступа к светильникам и удобства их обслуживания.

При разработке этого раздела дипломного проекта необходимо иметь в виду, что существуют два способа замены перегоревших ламп: *индивидуально-групповой и индивидуальный*.

Индивидуально-групповой способ применяется в том случае, если в помещении установлено 30 и более светильников с ЛЛ, а индивидуальный — менее 30. Когда в помещении установлены любые другие типы светильников. Очевидно, замену перегоревших ламп рекомендуется совмещать по возможности с чисткой светильников по заранее составленным графикам. Сроки замены перегоревших ламп приведены в табл. 12.2.

Допускается замена перегоревших ламп в более ранние сроки, если это вызвано технологическими причинами, т.е. с необходимостью немедленного восстановления освещенности рабочих мест. Лампы местного и общего освещения мощностью более 1000 Вт должны меняться по мере выхода их из строя. Групповая замена ламп ОУ с ЛЛ проводится при индивидуально-групповом способе через 9600 ч с одновременной чисткой светильников. При этом между двумя групповыми заменами нужно производить подзамену перегоревших ламп через каждые 600 ч.

Перерасход электроэнергии в ОУ может быть вследствие постоянной или временной работы ламп при повышенном напряжении, значительно превышающем (5–10 %) номинальное значение. Чтобы предотвратить последнее, в ОУ с ЛЛ рекомендуется устанавливать ограничители или стабилизаторы напряжения, а в ОУ с ЛН применять лампы на повышенное напряжение. Повышенное напряжение снижает срок службы электроламп. Значения повышения потребляемой мощности и изменения сроков службы ламп по [10] приведены в табл. 12.3 и 12.4.

Для ремонта и чистки светильников организуются специальные мастерские. Численность инженерно-технических работников (ИТР) в таких мастерских для обслуживания ОУ предприятия устанавливается в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 12.5.

При установленной мощности ОУ свыше 3500 кВт на каждые 1500 кВт добавляется еще один работник. При организации мастерской исходят из сле-

Таблица 12.2
Сроки замены перегоревших источников света

Источник света	Мощность, Вт	Сроки замены ламп, ч, не более
ЛЛ	Любая	600
ДРЛ	400 и больше	350
ДРЛ	250 и меньше	280
МГЛ	250–400	200
МГЛ	700–1000	180
НЛВД	400	150
ЛН	Любая	100

Таблица 12.3
Зависимость увеличения потребляемой мощности источниками света и ПРА от повышения напряжения в осветительных сетях

Типы ламп	Увеличение потребляемой мощности от ее номинального значения, %, при отклонении напряжения δU , %					
	1	2	3	5	7	10
ЛН	1,6	3,2	4,7	8,1	11,5	16,4
ЛЛ + ПРА	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
ДРЛ + ПРА	2,2	5,0	7,0	12,0	18,0	24,0
	1,5	3,0	4,5	7,5	10,5	15,0
МГЛ	2,0	4,0	5,0	10,0	14,0	18,0
НЛВД	2,8	5,6	8,4	14,0	19,6	28,0
	2,0	8,0	11,0	18,0	23,0	34,0

Таблица 12.4
Изменение сроков службы ламп и их расхода в зависимости от повышения напряжения в осветительных сетях

Типы ламп	Срок службы ламп (числитель), %, и количество ламп (знаменатель), %, при отклонении напряжения δU , %					
	1	2	3	4	5	10
ЛН	87,1	75,8	66,2	50,5	38,7	7,8
	114	132	151	198	258	1284
ГЛ	95,0	93,0	90,0	85,0	80,0	73,0
	105	108	111	118	125	137

дующих нормативов. С числом установленных электросветильников 4000 и менее считается нецелесообразным организовывать ее вообще. Все ремонты и чистку светильников нужно производить в этом случае на месте, а в случае необходимости — в общезаводской ремонтной мастерской. Если число све-

Таблица 12.5
Численность ИТР для обслуживания ОУ

Мощность ОУ, кВт	250—750 кВт	750—2000 кВт	2000—3500 кВт
Инженер-светотехник	—	1	1
Техник по освещению	1	—	1

тильников превышает 4000, необходимо организовать специальную мастерскую для ремонта ОУ с моечными ваннами. Рекомендуется при значительном запылении и загрязнении осуществлять 3 чистки светильников на месте, а четвертую — пропусканием их через моечное отделение мастерской. Если светильники работают в среде с незначительным запылением, то мойка их в мастерской может чередоваться с мойкой на месте через 8 чисток.

Мастерская должна оборудоваться по специально разработанному проекту с учетом требований конкретного предприятия с установкой моечных ванн, число которых определяется их пропускной способностью и числом светильников на предприятии. Необходимо учитывать также конструктивные особенности светильников и их способы установки, наличие штепсельных разъемов и съемных отражателей, условия окружающей среды и расположение производственных зданий на территории предприятия. К значительной экономии электроэнергии (15—20 %) может привести регулярная (не менее двух раз в году) чистка и мойка окон производственных зданий. Процесс этот трудоемкий и для его осуществления желательно применять средства механизации, например механические вращающиеся щетки с пневмо- или электроприводом. Щетки закрепляются на сборной штанге, через которую может подаваться также специальный раствор или вода для мойки стекол. Такое приспособление может быть смонтировано на передвижной площадке, которую по разработанному на предприятии графику транспортируют в зону чистки и мойки окон.

12.3. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

З а щ и т н о е з а з е м л е н и е — это преднамеренное соединение с землей части электроустановки, которая может оказаться под напряжением при повреждении ее изоляции.

З а н у л е н и е в низковольтных электрических сетях трехфазного тока называют соединением той же части электроустановки с глухозаземленной нейтралью трансформатора, т.е. подключение металлических корпусов электрооборудования к нулевому проводу.

Защитное заземление и зануление применяются для защиты людей от поражения электрическим током при пробое изоляции электроустановок.

Заземлению или занулению подлежит все электрооборудование, подключенное к электрическим сетям переменного тока напряжением 380 В и выше и постоянного тока напряжением 440 В и выше.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения людей электрическим током и наружных установках электрообо-

рудование должно заземляться при напряжениях выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока.

Подлежат заземлению или занулению корпуса электрических машин, приборов, приводы аппаратов, вторичные обмотки трансформаторов тока, металлические каркасы электроустановок, электроконструкции, металлические оболочки и броня кабелей, металлические скобы и отрезки труб при прокладке кабеля с заземленной оболочкой, стальные трубы электропровода.

Не требуется заземлять или занулять перечисленные выше части электрооборудования, если они установлены на заземленных металлоконструкциях, а также металлическую арматуру изоляторов, оттяжек, кронштейнов, осветительную арматуру при установке их на деревянных опорах.

В трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью металлические конструкции опор и электрооборудование зануляются. В электроустановках выше 1 кВ металлические части электрооборудования заземляются.

Если по технологическим причинам невозможно заземлить или занулить электрооборудование, допускается применение изолирующих площадок для его обслуживания с соблюдением требований ПУЭ. В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью должно быть выполнено зануление, применение одного заземления не допускается. В исключительных случаях, при наличии достаточных на это оснований, допускается сочетать заземление с защитным отключением или контролем изоляции сети [15].

Заземляющие проводники для внутреннего контура заземления с целью обеспечения безопасности обслуживающего персонала при эксплуатации проектируемых электроустановок выбираются согласно ПУЭ: полосовая сталь площадью сечения 24 мм² при толщине 3 мм; стальные трубы с толщиной стенки 2,5 мм; круглая сталь диаметром 5 мм.

При расчете наружного контура заземления необходимо в первую очередь использовать естественные заземлители, а если такой возможности нет — искусственные.

В качестве естественных заземлителей, согласно [15], применяют проложенные в земле металлические трубы, за исключением трубопроводов с горючими жидкостями и газами, а также свинцовые оболочки кабелей, металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, связанные с землей.

Ниже приводится методика расчета железобетонных фундаментов зданий, которые связаны между собой металлическими конструкциями, служащими естественными заземлителями.

Сопротивление железобетонных фундаментов определяется по формуле

$$R = 0,52 \frac{\rho_{\text{э.кв}}}{\sqrt{S}}, \quad (12.1)$$

где $\rho_{\text{э.кв}}$ — удельное эквивалентное электрическое сопротивление неоднородной земли, Ом·м; S — площадь, ограниченная периметром здания на уровне поверхности земли, м².

Под удельным эквивалентным сопротивлением неоднородной земли по-

нимается сопротивление однородной земли, при котором рассматриваемый заземлитель имеет такое же сопротивление, как и в земле с реальной неоднородной структурой. Неоднородность структуры земли распределяется в основном по вертикали.

При этом под верхним слоем земли подразумевается слой, удельное сопротивление которого ρ_1 более чем в два раза отличается от удельного сопротивления нижележащего слоя. Если же разница в удельных сопротивлениях названных двух слоев отличается меньше чем в два раза, то структуру земли считают однородной.

Удельное эквивалентное электрическое сопротивление определяется по формуле

$$\rho_{\text{экв}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha_1 \frac{h_1}{\sqrt{s}}}\right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta_1 \frac{\sqrt{s}}{h_1}}\right), \quad (12.2)$$

где α_1 и β_1 — коэффициенты, зависящие от ρ_1 и ρ_2 ; ρ_1 и ρ_2 — удельные сопротивления верхнего и подстилающего слоев грунта, Ом·м; h_1 — толщина верхнего слоя грунта, м.

При $\rho_1 > \rho_2$ $\alpha_1 = 3,6$; $\beta_1 = 0,1$; при $\rho_1 < \rho_2$ $\alpha_1 = 1,1 \cdot 10^2$; $\beta_1 = 0,3 \cdot 10^{-2}$.

Если при расчете естественных заземлителей, в том числе и железобетонных фундаментов, окажется, что сопротивление их больше нормы, то нужно дополнительно рассчитать искусственный заземлитель.

В качестве искусственных заземлителей применяются:

- а) вертикальные заземлители (предпочтительно круглая сталь);
- б) углубленные заземлители (полосовая или круглая сталь, укладываемая горизонтально на дно котлована по периметру фундамента);
- в) горизонтальные заземлители (круглая сталь или стальные полосы).

Размеры стальных заземлителей приведены в табл. 12.6.

Наиболее часто применяются заземлители из круглых электродов диаметром 12 мм и длиной 5 мм, расчет которых с применением ЭВМ приводится в гл. 13.

При проектировании подстанций с воздушными вводами, кинотеатров и других объектов в соответствии с заданием на дипломное проектирование учащийся должен предусмотреть молниезащиту.

В зависимости от требуемой категории устройства молниезащита может осуществляться:

Таблица 12.6
Минимальные размеры стальных заземлителей

Типы заземлителей	Наименование величины	Минимальные значения
Круглые неоцинкованные	Диаметр, мм	10
Круглые оцинкованные	Диаметр, мм	6
Прямоугольные	Площадь сечения, мм ²	48
	Толщина, мм	4
Угловая сталь	Толщина полок, мм	4

- а) стержневыми (одиночными, двойными и многократными) или тросовыми молниеотводами, установленными отдельно или на защищаемом объекте;
- б) наложенной на крышу здания молниеприемной сеткой из стали диаметром 6 мм.

Зона защиты молниеотводов определяется расчетом по [7] и показывается на графической части проекта.

12.4. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

Вопросам безопасности труда и противопожарным мероприятиям при выполнении дипломного проекта необходимо уделить самое серьезное внимание. При этом следует руководствоваться "Правилами устройства электроустановок" и "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

Приступая к выбору электрооборудования и способов выполнения электропроводок и силовых сетей, нужно определить вид помещения по классификации ПУЭ. Помещения подразделяются на *нормальные* и *подверженные действию влаги, температуры, пыли и химически активных сред*. Особое внимание нужно уделить *взрывоопасным* (подразделяются на 6 классов) и *пожароопасным* (подразделяются на 4 класса) зонам. Электроустановки могут монтироваться и на открытом воздухе, в этом случае они называются наружными.

В соответствии с условиями окружающей среды помещений применяются следующие исполнения машин и аппаратов: *открытое, защищенное, каплезащищенное, брызгозащищенное, закрытое, взрывобезопасное, пыленепроницаемое*.

Все электроустановки разделяются на электроустановки до 1000 В и выше 1000 В.

В отношении опасности поражения людей электрическим током различаются помещения: 1) с повышенной опасностью; 2) особо опасные; 3) без повышенной опасности.

Опасность получения электротравм возникает при монтаже установок без соблюдения необходимых мер безопасности, неудовлетворительной изоляции сети и оборудования, неправильной эксплуатации электроустановок и защитных средств, а также при несоблюдении правил безопасности труда.

Для предупреждения электротравматизма при устройстве и эксплуатации электроустановок используются определенные средства. Основными из них являются: изоляция, защита от опасности прикосновения к токоведущим частям установки, защита от замыканий между обмотками трансформатора, применение малых напряжений для ремонтного и местного освещения и для переносного электроинструмента в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных. Большое значение имеет также комплектование электроустановок машинами, аппаратами, приборами, проводами и кабелями, конструкциями, вид исполнения, способ установки и класс изоляции которых соответствует номинальному напряжению сети и условиям окружающей среды; монтаж электроустановок с необходимыми мероприятиями безопасности; за-

земление электроустановок и защитное отключение оборудования при однофазных замыканиях на землю.

По действующим правилам сопротивление изоляции внутренних электрических сетей напряжением до 1000 В между фазами и относительно земли на участке между двумя смежными защитными аппаратами и за последним защитным аппаратом до зажимов электроприемников должно быть не менее 0,5 МОм. Силовые кабели с бумажной изоляцией напряжением 6—10 кВ испытываются повышенным напряжением выпрямленного тока шестикратного значения в течение 10 мин, а кабелей до 1000 В — мегаомметром на напряжение 500—1000 В.

В случае применения в проекте неизолированных проводников (шин) необходимо располагать их на недоступной высоте или надежно ограждать. Открытые токопроводы в производственных помещениях должны устанавливаться на высоте не менее 3,5 мм от пола, это же требование относится и к троллеям подъемных механизмов. Высота ограждений неизолированных токоведущих частей в РУ напряжением до 1000 В должна быть не менее 1,7 м, а напряжением выше 1000 В — не менее 2 м для открытого распределительного устройства (ОРУ) и 1,7 м для закрытого распределительного устройства (ЗРУ). При этом в качестве ограждения токоведущих частей могут служить сетки с размером ячеек не более 25х25 мм, а также сплошные или смешанные ограждения.

При однофазном замыкании на металлические корпуса электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, для защиты обслуживающего персонала применяется заземление электроустановок.

Заземление кожухов и станин электрических машин, трансформаторов, осветительной аппаратуры, корпусов металлических конструкций распределительных устройств должно осуществляться путем присоединения их к внутреннему контуру заземления.

Особое внимание следует уделить вопросам устройства электрических сетей и выбору электрооборудования взрывоопасных и пожароопасных зон. Электропроводки во взрывоопасных зонах должны выполняться в стальных водогазопроводных трубах (но не тонкостенных), соединяемых и присоединяемых на резьбе с подмоткой пенькового волокна, пропитанного в сурике на олифе. Соединять и прикреплять трубы электропроводки к несущим поверхностям сваркой запрещено. После окончания монтажа они должны быть испытаны на плотность соединений сжатым воздухом. При монтаже электропроводок в трубах устанавливают разделительные уплотнения: сальниковые и заливочные. В качестве заземляющих проводников во взрывоопасных зонах должны быть использованы специально для этого проложенные шины, а не трубы электропроводки. Разрешается также применять во взрывоопасных зонах всех классов открытую прокладку бронированных кабелей без наружных защитных покровов из горючих веществ. Изоляция кабелей должна выдерживать напряжение не ниже 1000 В. При этом должно быть гарантировано отсутствие механических и химических воздействий на кабель. Разрешается прокладывать кабели, имеющие поливинилхлоридную или резиновую изоляцию. Кабели с полиэтиленовой изоляцией применять нельзя, так как она горюча. В

этих случаях используют кабели марок ВБВ и АБВВ с повышенной надежностью против взрыва.

Во взрывоопасных зонах класса В-1 и В-1а разрешается применять провода и кабели только с медными жилами, а в остальных помещениях — с алюминиевыми. Для освещения взрывоопасных помещений служат электросветильники типов ВЗГ, ВЧА и НОБ. Зарядка светильников должна производиться медными гибкими проводами с термостойкой изоляцией марки ПРКС. Установка распределительных устройств и другого электрооборудования в таких помещениях запрещена, за исключением электрооборудования в специальном исполнении.

Для взрывоопасных помещений выпускается электрооборудование следующих видов: взрывозащищенное, взрывонепроницаемое, повышенной надежности против взрыва, с масляным исполнением, продуваемое под избыточным давлением, искробезопасное и специальное.

При проектировании электрооборудования пожароопасных зон необходимо соблюдать меры противопожарной безопасности. Машины и аппараты, представляющие пожарную опасность (коммутационные аппараты, электродвигатели с искрящими контактами и т.п.), следует удалять от мест скопления горючих материалов. Электрические машины в стационарных условиях должны иметь специальное исполнение. Так, в помещениях класса П-1 разрешается использовать машины брызгозащищенные, закрытые, а также закрытые обдуваемые или продуваемые. Стационарные аппараты и приборы лучше применять маслonaполненные, а аппаратуру с искрящимися частями — в пыленепроницаемом исполнении. Щитки и выключатели осветительных цепей рекомендуется выносить из пожароопасных зон. Не следует устанавливать в таких зонах электронагревательные приборы, а при их применении нагреваемые до высоких температур части должны быть ограждены от соприкосновения с горючими материалами. Сами приборы должны быть установлены на несгораемой поверхности. В складских помещениях также запрещается использовать электронагревательные приборы. В пожароопасных зонах светильники должны быть пыленепроницаемыми. В зонах классов П-II и П-IIa допускаются светильники в защищенном и открытом исполнении. В складских помещениях на светильники обязательно нужно надеть колпаки.

Необходимо применять электропроводки, защищенные трубами или трубчатым проводом (в сухих непыльных помещениях или пыльных, но где пыль не образует разрушительных для оболочки соединений), небронированным кабелем с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией в свинцовой или полихлорвиниловой оболочке. Во всех пожароопасных зонах допускается открытая прокладка изолированных проводов на изоляторах. Провода должны быть удалены от мест скопления горючих материалов и не подвергаться механическим воздействиям. Разрешается прокладывать их на изоляторах по деревянным неоштукатуренным стенам и подшивке. В пожароопасных зонах всех классов можно применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Изоляция проводов электропроводок должна быть рассчитана на напряжение не ниже 500 В. Необходимо, чтобы соединительные и ответвительные коробки были пыленепроницаемые, а пластмассовые части жаростойкими. Если в пожароопасной зоне используются токопроводы, то они защищаются кожуха

ми с отверстиями не более 5 мм, а в помещениях классов П-I и П-II шины токопровода на всем протяжении изолируют.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током электропомещения обеспечиваются защитными средствами: диэлектрическими перчатками, монтерским инструментом с изолированными ручками, диэлектрическими галошами и ботами, ковриками и подставками, оперативными и измерительными штангами, изолирующими и токоизмерительными клещами, указателями напряжения и т.д.

Для тушения пожаров в электроустановках применяются углекислотные огнетушители типов ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, а также ящики с сухим чистым песком. В проекте учащиеся должны привести нормы комплектования защитными средствами электроустановок при вводе их в эксплуатацию в соответствии с [14] и противопожарным инвентарем по [17] на проектируемом объекте. По заданию руководителя может быть разработана ручная или автоматическая система пожаротушения. Перед описанием этого раздела учащемуся полезно ознакомиться с действующей Системой стандартов безопасности труда (ССБТ) и ГОСТ 12.1.009—76 "Электробезопасность. Термины и определения".

12.5. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При выполнении дипломного проекта учащийся должен установить источники нарушения окружающей среды со стороны проектируемого производства и применяемого на нем оборудования и предусмотреть меры, направленные на устранение или снижение до норм отрицательного воздействия техногенных факторов на окружающую среду.

Особое внимание следует уделить разработке и внедрению технологии экологизированного (безотходного) производства, устраняющей различные негативные последствия в природе.

Источниками нарушения окружающей среды могут быть:

а) несовершенная технология химического, металлургического и других производств, допускающих выброс в атмосферу, на землю, леса и воды газообразных, твердых и жидких отходов;

б) использование производством токсических материалов, кислот, щелочей, ртути и др.;

в) использование электростанциями, ТЭЦ и котельными жидкого топлива с большими концентрациями вредных веществ;

г) выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания;

д) ионизирующее и электромагнитное излучение, радиоактивное загрязнение, шум и вибрация от различных установок и оборудования;

е) пренебрежение утилизацией отходов производства;

ж) бесхозяйственное отношение к зеленым насаждениям при строительстве воздушных линий электропередачи и прокладке подземных коммуникаций, в частности электрических кабелей.

Дипломный проект должен отражать уровень технической, экономической и экологической образованности будущего специалиста. Конечно, глубина проработки проблемы охраны окружающей среды в значительной степени зависит от темы проекта. Но в каждом проекте должны быть намечены мероприятия по организации рационального природопользования и безотходного

производства, подавлению или снижению вредных излучений, шумов и вибраций, т.е. по снижению воздействия проектируемого объекта на окружающую среду — воздушный бассейн, землю, воду, растительный и животный мир, недра, природные ландшафты и, главное, на здоровье людей.

При проектировании отдельных видов электроустановок рекомендуются следующие меры по охране окружающей среды.

1. На открытых подстанциях с целью уменьшения занимаемых земельных площадей необходимо выбирать малогабаритное высоковольтное электрооборудование, в том числе выключатели с элегазовым заполнением.

2. На ТЭЦ, котельных и других энергетических объектах, связанных со сжиганием топлива, следует применять фильтры для очистки выбросов от вредных примесей.

3. На объектах с токсичными и ядовитыми отходами производства, например на химических заводах, предусматривать технические решения по очистке сточных вод.

4. На атомных электростанциях и других объектах с использованием радиоактивных материалов разработать меры по борьбе с радиоактивным загрязнением среды.

При электромонтажных работах и эксплуатации электроустановок необходимо выполнять определенные требования по охране окружающей среды:

а) земляные работы при рытье траншей для кабелей и котлованов под опоры ВЛ производить с максимальным сохранением зеленых насаждений. Трассу траншеи размещать, отступив от ряда взрослых деревьев 2 м, а от ряда кустарниковых насаждений — 1 м;

б) строительно-монтажную площадку не следует засорять отходами электроматериалов (проводами, кабелями, металлом и пр.), а собирать их в специальные контейнеры для утилизации. Упаковочный материал также нельзя разбрасывать по объекту;

в) при работе с горючесмазочными материалами и трансформаторным маслом не рекомендуется сливать отходы на землю и в канализационную систему, а собирать их в отдельную тару и сдавать на переработку;

г) промасленную ветошь следует складывать в специальные железные ящики во избежание их самовозгорания;

д) при выходе из строя ламп ДРЛ и люминесцентных нельзя их разбивать на месте и разбрасывать, а производить их захоронение в землю, так как они содержат токсичную ртуть. Всесоюзным научно-исследовательским институтом ресурсосбережения (ВНИИР) для меркуризации (удаления ртути) отработанных люминесцентных, ртутных, металлогалогенных и натриевых ламп разработаны установки УДЛ производительностью 60, 100, 150 и 750 ламп в час.

ГЛАВА 13

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

13.1. РАСЧЕТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

При выполнении расчетной части дипломного проекта учащийся должен использовать вычислительную технику — электронные вычислительные машины (ЭВМ) и микрокалькуляторы (МК). Сложные расчеты с выбором оптимального варианта целесообразно производить на ЭВМ, менее сложные, повторяющиеся — с помощью программируемых микрокалькуляторов (ПМК), обычные же расчеты — на инженерных МК.

В организации процесса вычислений и контроля правильности расчетов на ЭВМ и ПМК учащемуся помогает консультант по программным расчетам, а при его отсутствии — руководитель дипломного проектирования.

Разработка схем алгоритмов, программ расчетов и их отладка — трудоемкий процесс. Поэтому в кабинете дипломного проектирования должен быть банк типовых программ для решения отдельных задач проекта, которым учащийся в случае необходимости мог бы воспользоваться. Необходимость формирования банка программ определяется требованием повышения производительности труда при работе с вычислительной техникой (ВТ). Следует иметь в виду, что, применяя ВТ для указанных расчетов, учащийся использует ее в диалоговом режиме работы "человек—машина". Этот диалог удачно реализуется в расчетах возможностью многократного введения исходных данных программы вычислений с целью получения необходимых результатов.

Целесообразность использования ЭВМ для расчетов в дипломном проекте обуславливается наличием в них сложных технико-экономических показателей, которые необходимо сравнить. Машина помогает учащемуся выбрать оптимальный вариант предполагаемого к установке электрооборудования по заданным условиям. Все подготовленные данные дипломник передает в вычислительный центр учебного заведения для выполнения соответствующих расчетов на ЭВМ.

Разработку программы расчетов и ее реализацию выполняет персонал вычислительного центра и в установленный срок передает готовую распечатку решения задачи дипломнику. В случае использования персональных ЭВМ подготовку исходных данных, составление программы и получение результатов осуществляет сам дипломник под руководством консультанта.

После обработки данных, ввода программы в ЭВМ и выполнения ее дипломник получает распечатку программы с результатом, которую он должен уметь проанализировать и сделать выводы. В распечатке содержится название задачи, программа вычислений и результат.

Программирование рассматривает вопросы решения различных задач, связанных с разработкой программ действий вычислительных машин. Программа — это последовательность переложенных на язык машины команд, представляющих алгоритм решаемой задачи.

Алгоритм — это последовательность операций, необходимых для решения поставленной задачи.

Разработка программы и ее реализация выполняются в определенной последовательности: а) постановка задачи; б) разработка алгоритма решения; в) разработка программы; г) отладка программы и ввод ее в машину; д) распечатка результатов.

При постановке задачи для ее успешного решения на вычислительной машине нужно четко сформулировать и определить цель расчета и исходные данные.

Наилучшим способом записи алгоритма решения задачи являются схемы алгоритмов, в которых этапы алгоритмического процесса изображаются в виде прямоугольников (операции обработки, действия), ромбов (логические операции, условия) и т.д., а связи между геометрическими фигурами (этапами) — отрезками прямых линий; при их направлении влево или вверх концы отрезков указываются стрелками, а при направлении вправо и вниз стрелки ставить не обязательно. На связях, изображенных ломаными линиями, стрелки проставляются всегда. Они показывают последовательность выполнения этапов расчета. Не рекомендуется выполнять программы расчетов слишком детальными, т.е. с большим числом этапов.

При вычерчивании схем алгоритмов необходимо придерживаться ГОСТ 19.002—80 "Схемы алгоритмов и программ. Правила выполнения" и ГОСТ 19.003—80 "Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические".

Разработка программы состоит из записи алгоритма решения задачи на определенном для применяемой машины программном языке и распределения памяти машины. Кодирование программы осуществляется в соответствии с системой команд ЭВМ. Для решения научно-технических задач используют в основном проблемно-ориентированные языки ФОРТРАН, БЕЙСИК и ПЛ/1, а экономические задачи решаются с помощью языка КОБОЛ. Язык СИМСКРИПТ служит для решения задачи моделирования процессов. Машиноориентированные языки (например, ЯСК, АССЕМБЛЕР) предназначены для конкретной ЭВМ и не могут быть использованы для программирования на другой машине.

Отладка программы заключается в решении на ЭВМ простого примера с заведомо известным результатом, поскольку при разработке алгоритма и составлении программы возможны ошибки, которые должны быть устранены.

Ниже рассмотрена методика поэтапной подготовки данных для ЭВМ вычислительного центра: для задачи 13.1 — более подробно, для задач 13.2—13.7 в сокращенном виде.

Задача 13.1. Выбор трансформаторов по минимуму приведенных затрат.

Постановка задачи. Определить число и мощность трансформаторов ГПП промышленного предприятия с максимальной нагрузкой $S_{\max} = 25,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$. Время использования максимальной нагрузки $T_{\max} = 7000 \text{ ч}$; $\cos \varphi = 0,92$. Потребитель I категории. Значение удельных приведенных затрат на возмещение потерь электроэнергии и активной мощности холостого хода трансформаторов, по данным [25], $З_{у.э.х.х} = 1,8 \text{ коп. / (кВт} \cdot \text{ч)}$.

Значения удельных затрат на возмещение потерь короткого замыкания трансформаторов $З_{у.э.к.з}$ в зависимости от t приведены в табл. 13.1. Время

Таблица 13.1
Удельные затраты на потери в меди

$\tau, \text{ч}$	$З_{\text{у.э.к.з.}} \text{ коп}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$
1000	4,25
1500	3,25
2000	2,8
2500	2,5
3000	2,3
3500	2,15
4000	2,05
4500	1,95
5000	1,9
5500	1,85
6000	1,82
6500	1,8
7000	1,79
7500	1,78
8000	1,77
8500	1,76
8760	1,75

Таблица 13.2
Зависимость времени максимальных потерь от T

$T, \text{ч/год}$	$\tau, \text{ч}$
3000	1300
3500	1500
4000	2000
4500	2500
5000	3000
5500	3700
6000	4300
6500	5000
7000	5800
7500	6500
8000	7300
8500	8400
8760	8760

максимальных потерь τ определяется по табл. 13.2. Данные для выбора трансформаторов приведены в табл. 13.3.

Минимум приведенных затрат $З$ определяется по формуле

$$З = 0,12K + И + З'_3 + З''_3,$$

где K — капитальные затраты, определяются по табл. 13.3; $И$ — издержки эксплуатации (амортизационные отчисления, затраты на текущий ремонт и обслуживание), принимаются 9,4 % от K ; $З'_3$ — затраты на потери энергии в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания), тыс. руб.:

Таблица 13.3
Данные для выбора трансформаторов

Тип трансформатора	Расчетная стоимость тыс. руб.	$\Delta P_{\text{х.х.}}, \text{кВт}$	$\Delta P_{\text{к.з.}}, \text{кВт}$
ТМН-2500/110	35	5,5	22
ТМН-6300/110	49	11,5	44
ТДН-10000/110	54	14	60
ТДН-16000/110	63	19	85
ТРДН-25000/110	84	27	120
ТРДН-40000/110	109	36	172
ТРДЦН-63000/110	136	59	260
ТРДЦН-80000/110	157	70	310
ТРДЦН-125000/110	244	100	400

$$З'_3 = n \Delta P_{\text{к.з.}} \left(\frac{S_{\text{нагр}}}{n S_T} \right)^2 \tau З_{\text{у.э.к.з.}} \cdot 10^{-5},$$

n — количество трансформаторов ($n = 2$ для потребителей I и II категории, $n = 1$ для потребителей III категории); $\Delta P_{\text{к.з.}}$ — потери активной мощности в обмотках, кВт; $S_{\text{нагр}}$ — мощность нагрузки, кВ·А; S_T — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; τ — число часов максимальных потерь, ч; $З_{\text{у.э.к.з.}}$ — удельные затраты на возмещение потерь энергии в обмотках, коп/(кВт·ч).

Затраты на потери энергии в стали (потери холостого хода)

$$З''_3 = n \Delta P_{\text{х.х.}} T З_{\text{у.э.х.х.}},$$

где $\Delta P_{\text{х.х.}}$ — потери мощности в стали, кВт; T — время работы трансформатора, ч/год.

Потребители I и II категорий должны бесперебойно обеспечиваться электроэнергией, поэтому для надежности схемы электроснабжения необходимо установить два трансформатора на случай выхода из строя одного из них. При этом второй трансформатор должен обеспечить работу с перегрузкой в 1,4 раза. Если потребитель I и II категорий, выбираем трансформатор из условия

$$S_T \geq 1,4 S_{\text{нагр.}}$$

а для потребителей III категории из условия

$$S_T \geq S_{\text{нагр.}}$$

Назначение программы. Программа предназначена для выбора мощности и числа трансформаторов в зависимости от категории потребителей и максимальной мощности нагрузки. Для выбора оптимального варианта, определяемого по минимуму приведенных затрат, производится расчет трансформато-

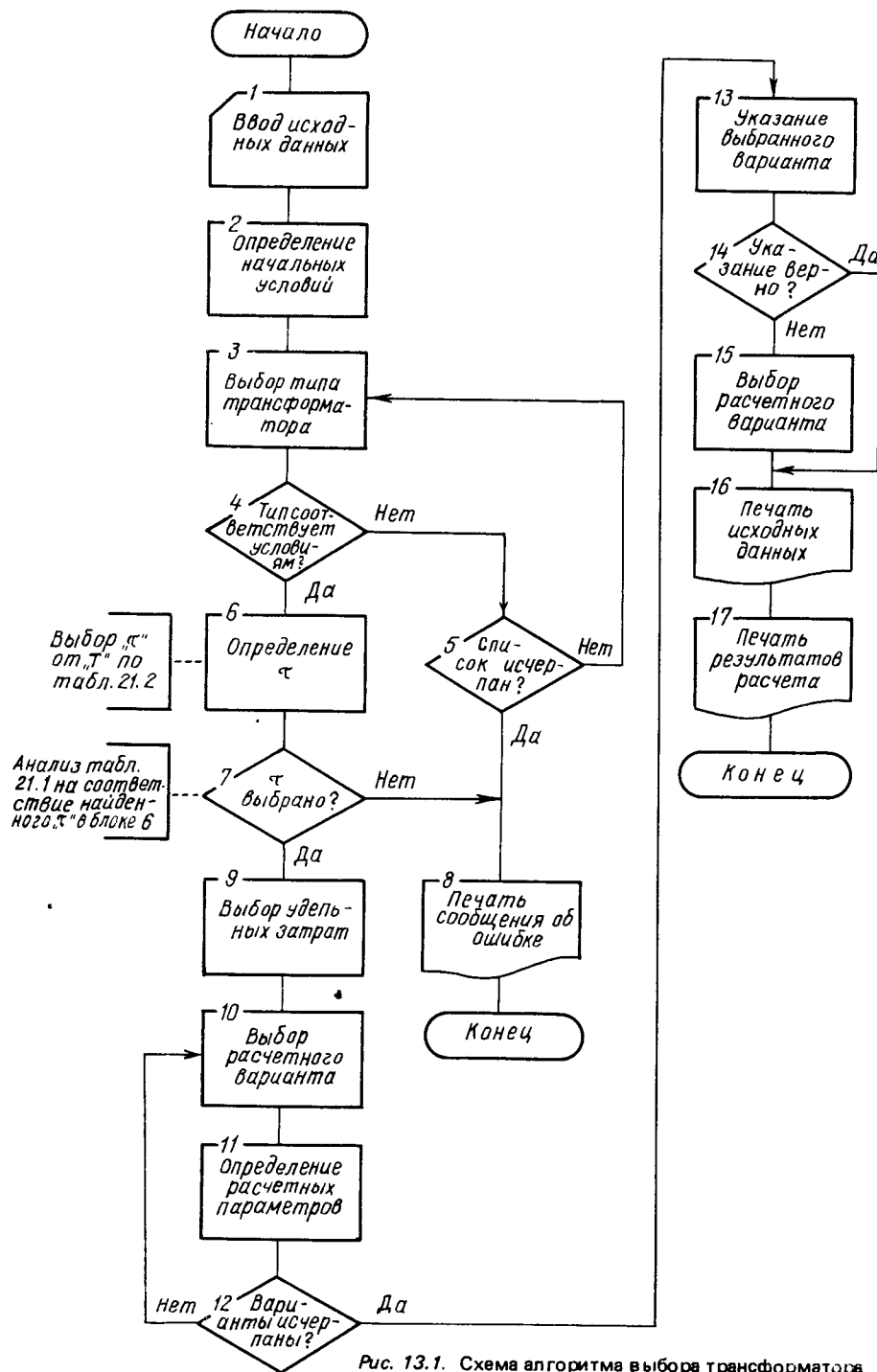


Рис. 13.1. Схема алгоритма выбора трансформатора

ров двух типов и выбирается тот трансформатор, установка которого будет более экономичной. Для рассмотрения вариантов берется тип трансформатора, обеспечивающий технические условия, а также следующий за ним из табл. 13.3, обеспечивающий минимум приведенных затрат.

Схема алгоритма решения задачи. Порядок выполнения отдельных этапов расчета на ЭВМ поясняет схема алгоритма, приведенная на рис. 13.1.

Программа выбора трансформаторов. Программа составлена на алгоритмическом языке ФОРТРАН и содержит 49 операторов. Нормативно-справочная информация (см. табл. 13.1, 13.2, 13.3) хранится в тексте программы. Программа на исходном языке вводится в память ЭВМ с использованием диалоговой системы PRIMUS. Далее в операционной системе ОС ЕС производится трансляция исходной программы для получения объектного модуля и редактирование — для получения загрузочного (готового к выполнению) программного модуля.

Инструкция к программе. Исходные данные вводятся в машину с перфокарты. Программа хранится на магнитном диске и вызывается для выполнения при помощи диалоговой системы коллективного пользования PRIMUS.

Подготовка исходных данных. Исходные данные готовятся на перфокарте. Порядок занесения информации на перфокарту следующий:

а) значение максимальной нагрузки заносится в первые 8 позиций перфокарты, т.е. в колонки от 1-й до 8-й. Информация вводится с десятичным дробным разделителем (точка);

б) значение времени использования максимальной нагрузки также задается в 8 позициях перфокарты, т.е. в колонках 9—16, с десятичным дробным разделителем (точка);

в) значение коэффициента мощности заносится аналогично в колонки: 17—24;

г) значение категории потребителя набивается в виде целого числа без точки в поле, ограниченном колонками 25—28 (ближе к правой стороне поля).

Вывести на печать S_T, N .

Задача 13.2. Расчет заземления подстанции 10/0,4 кВ.

Постановка задачи. Рассчитать контур заземления подстанции, если грунт в месте ее сооружения — суглинок, климатическая зона 3, дополнительно в качестве заземлителя используются водопроводные трубы с сопротивлением растеканию тока 10 Ом.

Вертикальные электроды изготовлены из круглой стали диаметром 16 мм, длиной 5 м, метод их погружения — ввертывание; верхние конусы вертикальных стержней погружены на глубину 0,7 м. Для горизонтальных заземлений применена полосовая сталь размером 40 x 4 мм.

Так как заземляющее устройство выполняется общим для сторон 10 и 0,4 кВ, то, согласно [15], сопротивление не должно превышать 4 Ом с учетом использования естественных заземлений, включенных параллельно.

1. Сопротивление искусственного заземлителя (Ом)

$$\frac{1}{R_{\text{и}}} = \frac{1}{r_{\text{зм}}} - \frac{1}{R_{\text{е}}} \quad \text{или} \quad R_{\text{и}} = \frac{R_{\text{е}} r_{\text{зм}}}{R_{\text{е}} - r_{\text{зм}}}$$

где $R_{и}$ — сопротивление искусственного заземлителя, Ом; $R_{г}$ — сопротивление естественного заземлителя, Ом; $r_{зм}$ — допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

2. Расчетное удельное сопротивление вертикальных и горизонтальных заземлителей

$$\rho_{расч.в} = \rho K_{в},$$

$$\rho_{расч.г} = \rho K_{г},$$

где ρ — удельное сопротивление грунта, Ом·м; $K_{в}$, $K_{г}$ — повышающие коэффициенты для вертикальных и горизонтальных заземлителей, учитывающие высыхание грунта летом и промерзание зимой.

3. Сопротивление растеканию одного вертикального электрода

$$R_{в.о} = \frac{\rho_{расч.в}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (13.1)$$

где l — длина вертикального заземлителя, м; d — диаметр вертикального заземлителя, мм; t — расстояние от поверхности земли до центра электрода, м.

Размеры заземлителей указаны на рис. 13.2.

4. Примерное число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_{в.о}}{K_{и.в} R_{и}},$$

где $K_{и.в}$ — предварительно принятый коэффициент использования вертикальных заземлителей.

5. Сопротивление растеканию горизонтальных полос

$$R_{г} = \frac{\rho_{расч.г}}{2\pi l_1} \ln \frac{l_1^2}{bt_1},$$

где l_1 — длина горизонтального заземлителя, м; t_1 — расстояние от середины горизонтального заземлителя до поверхности земли, м; b — ширина полосы, м (рис. 13.2).

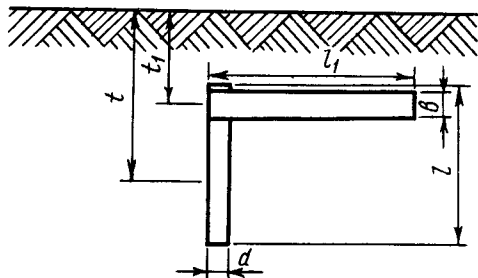


Рис. 13.2. Размеры заземлителей

6. Уточняем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом проводимости горизонтальных электродов:

$$\frac{1}{R_{в}} = \frac{1}{R_{и}} - \frac{1}{R_{г}} \quad \text{или} \quad R_{в} = \frac{R_{г} R_{и}}{R_{г} - R_{и}}.$$

7. Уточненное число вертикальных заземлителей

$$n_1 = \frac{R_{в.о}}{K_{и.в} R_{в}}.$$

Схема алгоритма расчета заземления приведена на рис. 13.3.

8. Вывести на печать $R_{в.о}$, $R_{г}$, $R_{и}$, $\rho_{расч.г}$, n , n_1 .

Задача 13.3. Расчет электрических нагрузок группы электроприемников методом упорядоченных диаграмм.

Постановка задачи. 1. Определить полную нагрузку электроприемников одинакового режима работы для распределительного шкафа ШР11-73703-54У2 по формуле

$$S_{\max г} = \sqrt{P_{\max г}^2 + Q_{\max г}^2},$$

где $P_{\max г}$ — максимальная потребляемая активная мощность группы, кВт; $Q_{\max г}$ — максимальная реактивная мощность группы, квар;

$$P_{\max г} = P_{\text{ном} \Sigma} K_{\max} K_{и};$$

$$Q_{\max г} = Q_{\text{ср} \Sigma} K'_{\max},$$

$P_{\text{ном} \Sigma}$ — суммарная номинальная нагрузка для группы станков, кВт;

$$P_{\text{ном} \Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном} i},$$

$P_{\text{ном} i}$ — номинальная активная мощность i -го электроприемника, кВт; $Q_{\text{ср} \Sigma}$ — средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену для группы станков, квар; $K_{и}$ — групповой коэффициент использования; $K_{\max}$ — коэффициент максимума активной нагрузки; $K'_{\max}$ — коэффициент максимума реактивной нагрузки.

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену i -электроприемника определяется по формулам:

$$P_{\text{ср} i} = K_{и i} P_{\text{ном} i};$$

$$Q_{\text{ср} i} = P_{\text{ср} i} \operatorname{tg} \varphi,$$

где $K_{и i}$ — коэффициент использования активной мощности одного электроприемника; $\operatorname{tg} \varphi$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий $\cos \varphi$.

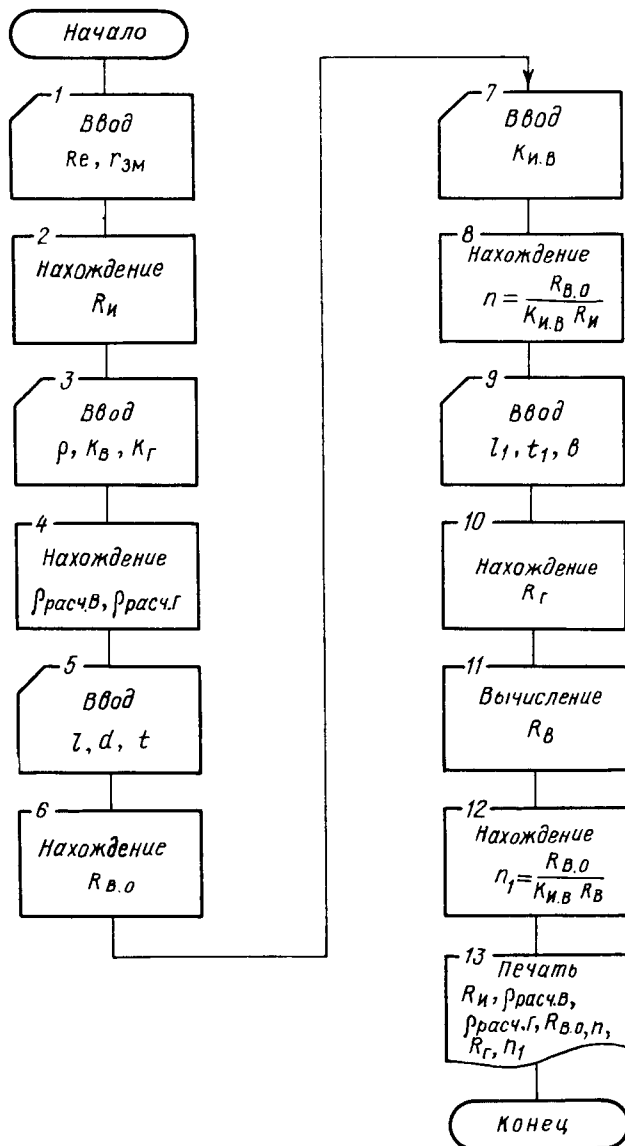


Рис. 13.3. Схема алгоритма расчета заземления

Максимальный расчетный ток для группы электроприемников определяется по формуле

$$I_{\max} = \frac{S_{\max \text{ г}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, В.

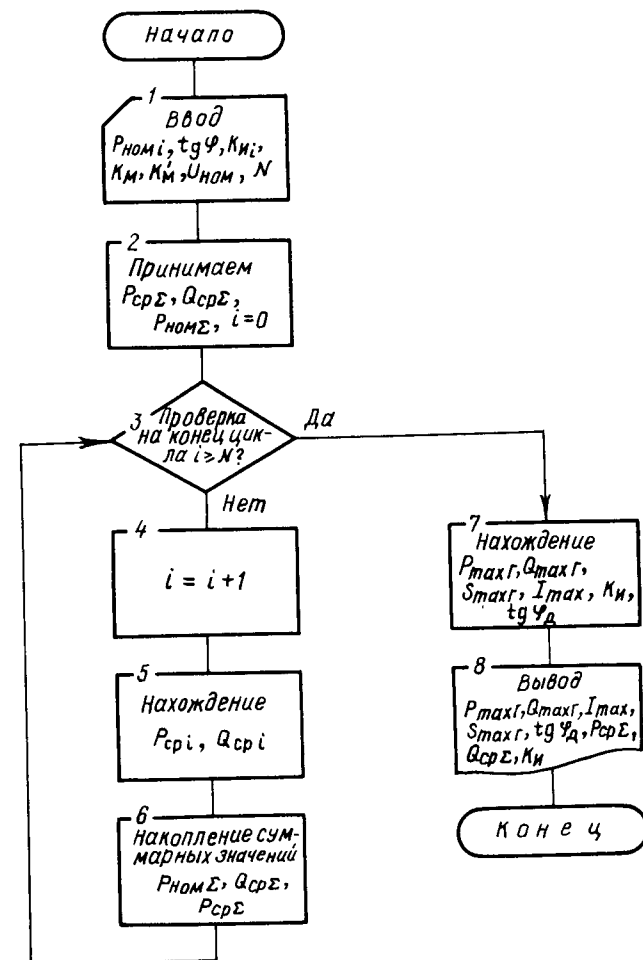


Рис. 13.4. Схема алгоритма расчета электрических нагрузок

Коэффициент использования для группы двигателей

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ср}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}}$$

Среднее значение коэффициента реактивной мощности для группы двигателей определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_d = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ср}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ср}i}}.$$

2. Вывести на печать: S_{max} , I_{max} , K_i , $\operatorname{tg} \varphi_d$, $P_{\text{ср}\Sigma}$, $Q_{\text{ср}\Sigma}$, Q_{max} , P_{max} .

Схема алгоритма расчета электрических нагрузок приведена на рис. 13.4.

Задача 13.4. Определение номинального тока электродвигателя и тока плавкой вставки.

Постановка задачи. 1. Определить номинальный ток электродвигателя по формуле

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (13.2)$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность электродвигателя, кВт; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, В; η — КПД двигателя.

2. Исходя из заданной последовательности значений номинальных токов плавких вставок предохранителей типа ПР-2 (6; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 63; 100), выбрать вставку предохранителя, учитывая условие

$$\begin{aligned} I_{\text{вст}} &\geq I_{\text{ном}}, \\ I_{\text{вст}} &\geq \frac{I_n}{a}, \end{aligned}$$

где I_n — пусковой ток, А:

$$I_n = I_{\text{ном}} K_i, \quad (13.3)$$

K_i — кратность пускового тока.

3. Вывести на печать: $I_{\text{ном}}$, $I_{\text{вст}}$.

Схема алгоритма определения тока электродвигателя и предохранителя приведена на рис. 13.5.

Задача 13.5. Расчет мощности компенсирующей установки и выбор мощности силового трансформатора с учетом компенсации.

Постановка задачи. 1. Определить мощность компенсирующей установки $Q_{\text{к.з}}^p$ по формуле (10.1).

2. Рассчитать полную мощность нагрузки с учетом компенсации трансформатора по формуле

$$S_p = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + (Q_{\text{к.з}}^p - Q_{\text{к.у}})^2}, \quad (13.4)$$

где $Q_{\text{к.у}}$ — мощность компенсирующей установки, квар; $Q_{\text{к.з}}^p$ — реактивная расчетная мощность, квар.

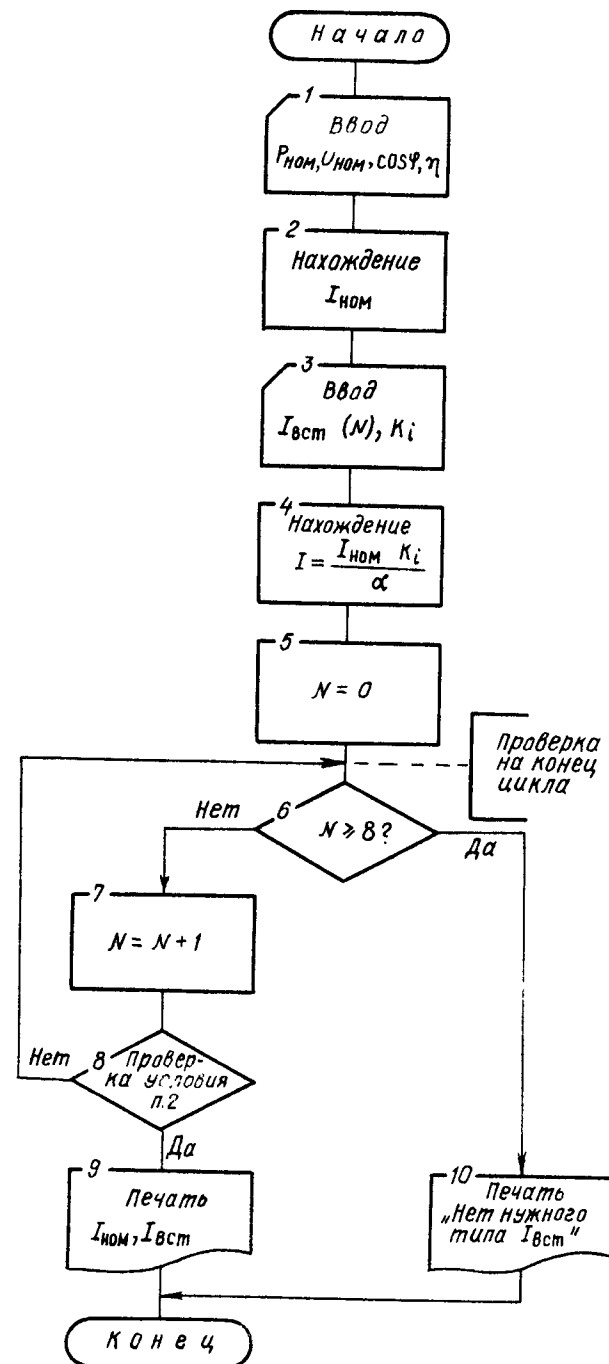


Рис. 13.5. Схема алгоритма определения тока электродвигателя и предохранителя

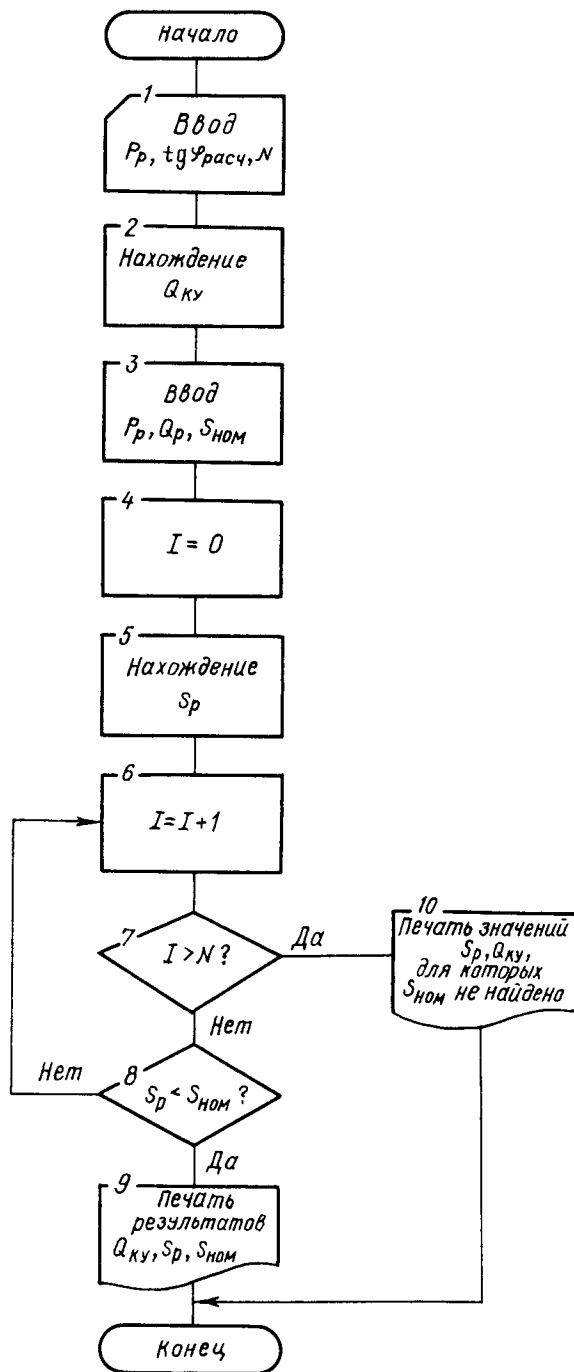


Рис. 13.6. Схема алгоритма расчета компенсирующей установки и трансформатора

Выбор мощности трансформатора производится из условия

$$S_p < S_{\text{ном}}$$

где $S_{\text{ном}} = 250, 400, 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

3. Вывести на печать: $Q_{\text{к.у.}}, S_p, S_{\text{ном}}$.

Схема алгоритма расчета компенсирующей установки и трансформатора приведена на рис. 13.6.

Задача 13.6. Расчет мощности электродвигателя насоса.

Постановка задачи. 1. Определить мощность электродвигателя насоса по формуле (4.1).

2. Вывести на печать P_d при условии изменения γ_n от 9500 до 14000 через 500 Н/м³.

Схема алгоритма расчета электродвигателя насоса приведена на рис. 13.7.

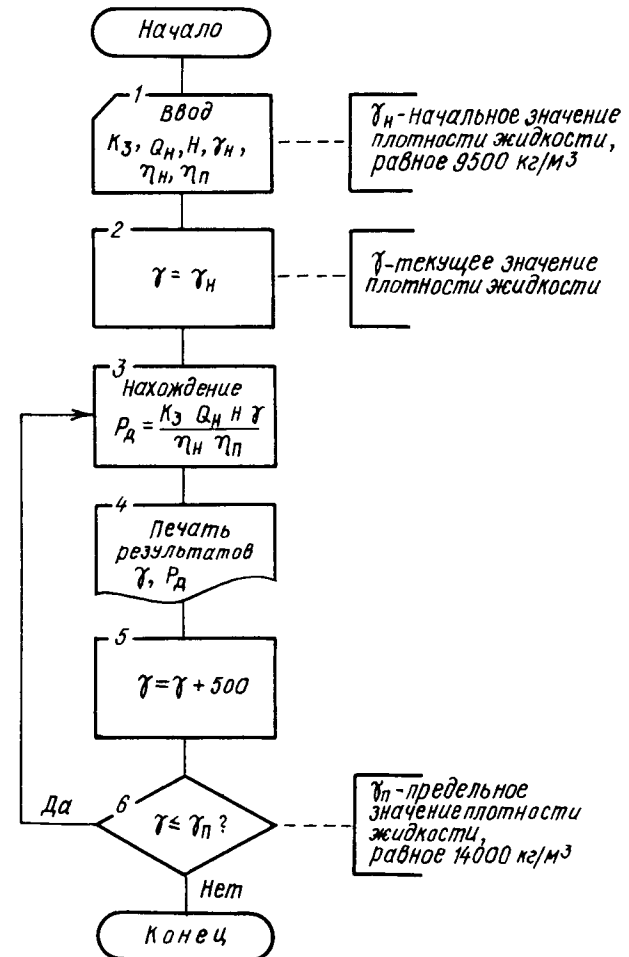


Рис. 13.7. Схема алгоритма расчета электродвигателя насоса

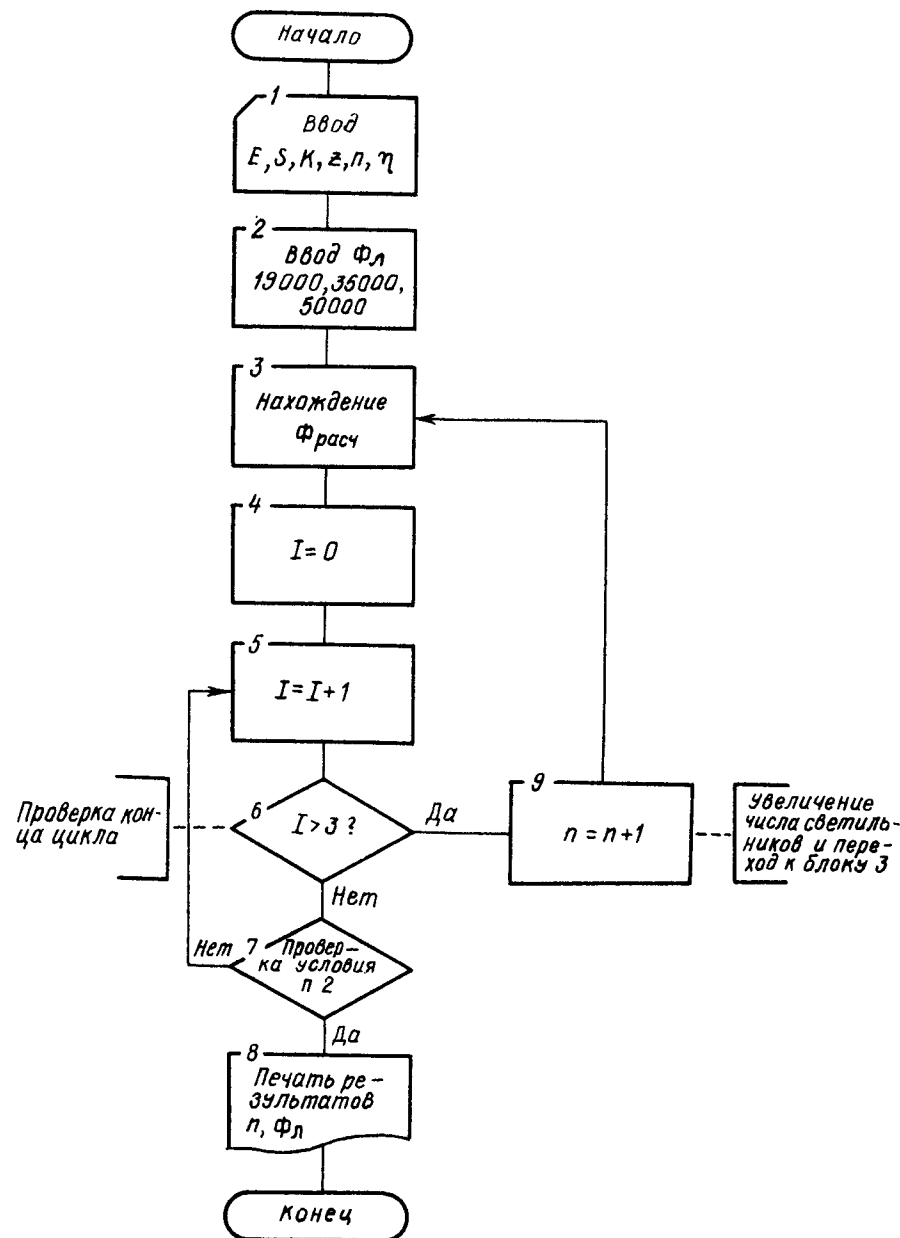


Рис. 13.8. Схема алгоритма расчета освещения

Задача 13.7. Расчет освещения цеха методом коэффициента использования светового потока.

Постановка задачи. 1. Определить световой поток одной лампы (в каждом светильнике) по формуле (9.3).

2. По световому потоку $\Phi_{расч}$ выбирается ближайшая стандартная лампа. При этом $\Phi_{расч}$ ее не должен отличаться от Φ_n больше, чем на $-10...+20\%$. При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируется n . При однозначно заданном световом потоке Φ формула решается относительно n . Коэффициент Z принимается равным 1,15.

3. Вывести на печать: n, Φ_n .

Схема алгоритма расчета освещения приведена на рис. 13.8.

13.2. РАСЧЕТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ

Для выполнения расчетов на ПМК учащиеся должны уметь составлять программу.

Ниже приведен ряд задач дипломного проекта с программами их решения на ПМК типа МК-54.

Задача 13.8. Расчет токов короткого замыкания в именованных единицах.

Постановка задачи. Требуется определить ток КЗ в точке K_2 (рис. 13.9), если известно, что ток КЗ в точке $K_1, I_{\infty K_1} = 11,5$ кА, длина кабеля $l = 4$ км; $X_0 = 0,08$ Ом/км; $R_0 = 0,33$ Ом/км.

Решение. Установившийся ток 3-фазного КЗ в точке K_2 рассчитывается по формуле (11.33), полное сопротивление линии до точки КЗ — по формуле (11.32); реактивное сопротивление линии — по формуле (11.30); активное сопротивление линии — по формуле (11.31).

Для программирования обобщим формулу (11.32):

$$I_{\infty K_2} = \frac{U}{\sqrt{3 \cdot \left[\left(\frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{\infty K_1}} + X_0 l \right)^2 + (R_0 l)^2 \right]}}$$

Программа и инструкция по работе с ней приведены в табл. 13.4–13.5. В дипломном проекте рассчитывать по этой формуле приходится столько раз, сколько линий приходит на заводскую подстанцию.

Пример работы с программой. Пусть: $l = 4$; $X_0 = 0,08$; $R_0 = 0,33$; $U = 10,5$; $I_{\infty K_1} = 11,5$.

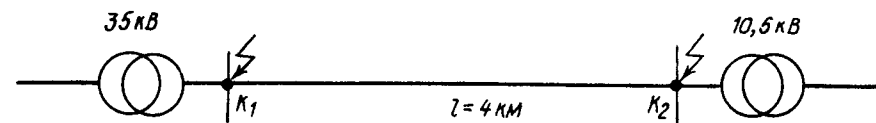


Рис. 13.9. Расчетная схема к задаче 13.8

Таблица 13.4
Программа

Адрес	Клавиши	Код
00	П → X 4	64
01	П → X 5	65
02	÷	13
03	3	03
04	F √	21
05	÷	13
06	П → X 1	61
07	П → X 2	62
08	x	12
09	+	10
10	F x ²	22
11	П → X 1	61
12	П → X 3	63
13	x	12
14	F x ²	22
15	+	10
16	3	03
17	x	12
18	F √	21
19	П → X 4	64
20	↔	14
21	÷	13
22	С/П	50
23	БП	51
24	0 0	00

Таблица 13.5
Инструкция по работе с программой

Операции	Клавиши
1. Включите микрокалькулятор	
2. Перейдите в режим "Программирование"	В/О F ПРГ
3. Введите программу	
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа"	F АВТ
5. Введите исходные данные в регистры памяти:	
L — в RG 1	X → П 1
X ₀ — в RG 2	X → П 2
R ₀ — в RG 3	X → П 3
U — в RG 4	X → П 4
I _{∞K1} — в RG 5	X → П 5
6. Находим значение I _{∞K2}	В/О С/П

В соответствии с инструкцией по работе с программой выполняем операции, указанные в п. 1—4 табл. 13.5. Затем вводим известные величины в соответствующие регистры, т.е. нажимаем клавиши:

для ввода L : 4 X → П 1;
 для ввода X₀ : 0 . 08 X → П 2;
 для ввода R₀ : 0 . 33 X → П 3;
 для ввода U : 1 0 . 5 X → П 4;
 для ввода I_{∞K1} : 1 1 . 5 X → П 5.

Для пуска программы с нулевого адреса нажимаем клавишу В/О и пускаем программу на счет, нажав клавишу С/П.

На индикаторе читаем результат 3,865, т.е. ток K3 в точке K₂ равен 3,865 кА.

Для повторения расчета с другими исходными данными повторить действия начиная с п. 5 табл. 13.5.

Программа, приведенная в табл. 13.4 и читаемая сверху вниз, может также записываться для сокращения в строку. В дальнейшем все программы расчетов и инструкции работы с ними будут представлены именно в таком виде.

Задача 13.9. Расчет сопротивления линии.

Постановка задачи. Требуется определить сопротивление алюминиевого провода линий 0,38 кВ длиной L = 195 м. Площадь сечения провода S = 4 мм², удельная проводимость γ = 32 МСм/м.

Решение. Сопротивление линии рассчитывается по формуле

$$R = \frac{L}{\gamma S} \quad (13.5)$$

Программа.

П → X1 3 2 ÷ П → X2 ÷ С/П

Инструкция по работе с программой. Ввод исходных данных в регистры памяти L → П1 и S → П2. Результат на индикаторе — 1,5234 (Ом). Если по условию задан медный провод с γ = 53 МСм/м, то в программе вместо 32 нужно подставить 53.

Задача 13.10. Определить расчетный максимальный ток для 2- и 3-двигательных электроприводов.

Постановка задачи. Требуется определить расчетный ток I_{мах} и средневзвешенный коэффициент мощности cosφ_{ср} для электроприемников, состоящих из 2- и 3-двигательного электропривода при P_{ном1} = 4,0 кВт; P_{ном2} = 2,2 кВт; P_{ном3} = 15 кВт и cosφ_{ном1} = 0,84; cosφ_{ном2} = 0,83; cosφ_{ном3} = 0,88. Напряжение сети 380 В. Электродвигатели асинхронные серии 4А с частотой вращения 1500 мин⁻¹.

Решение. Максимальный ток группы электродвигателей (не более трех) определяется по формуле

$$I_{\max} = \frac{\Sigma P_{\text{ном}i}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_{\text{cp}}}$$

Программа.

П → X1	П → X2	П → X3	+	+	X → П7	П → X1	П → X4
x	П → X2	П → X5	x	+	П → X3	П → X6	x
+	П → X7	÷	П → X7	↔	÷	3	F √
÷	0	.	3	8	÷	С/П	

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $P_{\text{ном}1} \rightarrow \text{П}1$; $P_{\text{ном}2} \rightarrow \text{П}2$; $P_{\text{ном}3} \rightarrow \text{П}3$; $\cos \varphi_{\text{ном}1} \rightarrow \text{П}4$; $\cos \varphi_{\text{ном}2} \rightarrow \text{П}5$; $\cos \varphi_{\text{ном}3} \rightarrow \text{П}6$.

Результат на индикаторе — 37,14 (А).

Если в проекте встречаются 2-двигательные электроприводы, для этого в регистры X → П3 и X → П6 подставляются нули.

Задача 13.11. Расчет заземления электроустановок.

Постановка задачи. Требуется определить сопротивление одиночного вертикального заземлителя из круглой стали диаметром $d = 12$ мм длиной $l = 5$ м. Верхний конец заземлителя находится ниже уровня земли при расчетном удельном сопротивлении грунта $\rho = 65$ Ом·м и расстоянии от поверхности земли до середины электрода $t = 2,75$ м.

Решение. Сопротивление заземлителя рассчитывается по формуле (13.1).

Программа.

2	П → X2	x	П → X3	÷	Flп	X → Па	4
П → X5	x	П → X2	+	4	П → X5	x	П → X2
—	÷	Flп	П → X6	x	П → Xa	+	П → X7
x	П → X2	÷	П → X1	x	П → X4	÷	С/П

Инструкция по работе с программой. Числовые значения величин вводятся в регистры памяти: $\rho_{\text{расч}} \rightarrow \text{П}1$; $l \rightarrow \text{П}2$; $d \rightarrow \text{П}3$; $2\pi \rightarrow \text{П}4$; $t \rightarrow \text{П}5$; $0,5 \rightarrow \text{П}6$; $1 \rightarrow \text{П}7$.

Результат — 6,37 Ом.

Если задан коэффициент сезонности, то в регистр памяти П7 вместо 1 подставляется его значение.

Задача 13.12. Расчет потери напряжения в проводах.

Постановка задачи. Требуется определить потерю напряжения в линии электропередачи, выполненной алюминиевым проводом с нагрузкой $I = 75$ А. Длина линии $L = 0,090$ км. Активное сопротивление провода $R_0 = 0,92$ Ом/км, индуктивное $X_0 = 0,24$ Ом/км, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,89$.

Решение. Потеря напряжения в проводах определяется по формуле (11.37).

Программа.

П → X3	П → X5	x	X → П6	1	П → X5	F X ²	—
F √	П → X4	x	П → X6	+	П → X2	x	3
F √	x	П → X1	x	С/П			

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $I \rightarrow \text{П}1$; $L \rightarrow \text{П}2$; $R_0 \rightarrow \text{П}3$; $X_0 \rightarrow \text{П}4$; $\cos \varphi \rightarrow \text{П}5$.

Результат на индикаторе — 10,85 (В).

Задача 13.13. Расчет полной мощности узла нагрузки.

Постановка задачи. Требуется определить полную мощность S_{max} шиннопровода при известной активной мощности $P_{\text{max}} = 49,75$ кВт и реактивной мощности $Q_{\text{max}} = 32,55$ квар.

Решение. Полная мощность S_{max} , приходящаяся на шинопровод, определяется по формуле (7.15).

Программа.

П → X1	F	X ²	П → X2	F X ²	+	F √	С/П
--------	---	----------------	--------	------------------	---	-----	-----

Инструкция по работе с программой. Ввод исходных данных в регистры памяти $P_{\text{max}} \rightarrow \text{П}1$; $Q_{\text{max}} \rightarrow \text{П}2$.

Результат на индикаторе — 59,45 (кВ·А).

Задача 13.14. Расчет эффективного числа электроприемников.

Постановка задачи. Требуется определить количество ЭП, их эффективное число n_{Σ} и суммарную мощность группы ЭП со следующими мощностями: $P_{\text{ном}1} = 25,5$; $P_{\text{ном}2} = 25$; $P_{\text{ном}3} = 24,9$; $P_{\text{ном}4} = 24,8$; $P_{\text{ном}5} = 24,5$; $P_{\text{ном}6} = 4,5$ кВт.

Решение. Эффективное число ЭП определяется по формуле (7.8).

Программа.

Сх	X → П1	X → П2	С/П	В↑	П → X1
+	X → П1	F X ²	↔	F X ²	П → X2
+	X → П2	÷	↔	1	+
С/П	БП	04			

Инструкция по работе с программой. Начало вычислений осуществляется клавишами В/О и С/П.

Исходные данные последовательно вводятся в регистр X и после каждого ввода нажимается клавиша С/П, после этого производится обмен содержимым между регистрами X и Y и затем вызов содержимого регистра памяти П1. Результаты расчета последовательно высвечиваются на индикаторе: в регистре X — число электроприемников 6; в регистре X — эффективное их число 5,33; в регистре памяти П1 — сумма номинальных мощностей электроприемников расчетного узла 129,2 кВт.

Задача 13.15. Расчет токов и коэффициента загрузки электроприемников.

Постановка задачи. Требуется определить номинальный ток $I_{\text{ном}}$, рабо-

тальных ремонтов $\Pi_k = 0,15$; норма времени на 1 рем. ед. при малом ремонте $t_m = 1,2$ ч; норма времени при среднем ремонте $t_{cp} = 7$ ч; норма времени при капитальном ремонте $t_k = 15$ ч. Эффективный фонд рабочего времени $F_{эф} = 1737$ ч, коэффициент перевыполнения норм выработки $K = 1,1$; количество ремонтных единиц $\Sigma r = 399$ р.ед.

Решение. Численность ремонтного персонала определяется по формуле

$$R_p = \frac{\Sigma r (\Pi_m t_m + \Pi_{cp} t_{cp} + \Pi_k t_k)}{F_{эф} K}$$

Программа.

2	B↑	1	.	2	x	1
.	5	B↑	7	x	+	0
.	1	5	B↑	1	5	x
+	ПХ1	÷	П→Х3	÷	П→Х2	x

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $F_{эф}$ — П1; Σr — П2; K — П3. На индикаторе читаем результат 3.16; округлив его до ближайшего целого числа, получим 3 чел.

Задача 13.20. Расчет стоимости потерь электрической энергии.

Постановка задачи. Определить стоимость потерь электрической энергии в линии длиной $L = 3$ км, площадь сечения провода $S = 50$ мм², ток в линии $I = 160$ А, время максимальных потерь $\tau = 3500$ ч, время работы предприятия в году $T = 2000$ ч.

Решение. Стоимость потерь электроэнергии в линии определяется по формуле

$$C_{\Delta W} = \Delta W \left(\frac{a}{T} + b \right),$$

где $a = 36 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$, $b = 0,012 \text{ руб/ (кВт·ч)}$.

Потери электроэнергии $\Delta W = \tau \Delta P$.

Потери мощности $\Delta P = 3I^2 R \cdot 10^{-3}$.

Сопротивление линии определяется по формуле (13.5), $\gamma = 32$ МСм/м (для алюминиевых проводов).

Стоимость потерь определяется по двухставочному тарифу.

Программа.

3	6	B↑	П→Х5	÷	0	
0	1	2	+	П→Х4	X	3
x	П→Х3	FХ ²	X	П→Х1	X	П→Х2
÷	1	0	0	0	÷	3
2	÷					

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры: L — П1; S — П2; I — П3; τ — П4 и T — П5.

Результат — 15,12 руб.

ГЛАВА 14

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

14.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Раздел пояснительной записки дипломного проекта, посвященный экономическим расчетам, выполняется под руководством консультанта по экономической части. В этом разделе необходимо экономически обосновать целесообразность выбора того или иного варианта электроснабжения или применяемого в проекте электрооборудования, а также выполнить ряд расчетов для сводных технико-экономических показателей. Исходные данные для выполнения экономической части проекта задаются руководителем дипломного проекта. Кроме того, учащимися используются данные, полученные во время преддипломной практики, для сравнения результатов проекта с фактическими по предприятию.

Содержание экономической части проекта в значительной степени зависит от темы. В проектах, связанных с *электрооборудованием* и *электроснабжением предприятий, цехов*, раздел по экономике должен содержать следующие вопросы:

- а) выбор оптимального варианта электрооборудования, схем электроснабжения;
- б) технико-экономическое обоснование принятого решения;
- в) сметно-финансовые расчеты по проектируемому объекту;
- г) определение численности работников электротехнической службы и фонда заработной платы;
- д) расчет себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии.

Если дипломный проект посвящен *изготовлению действующих моделей, приборов и установок*, то раздел по экономике должен содержать вопросы:

- а) расчеты по определению себестоимости изготовления приборов, моделей и т.д.;
- б) определение оптовой цены установки, прибора и т.д.;
- в) расчет уровня рентабельности;
- г) определение годового расхода электроэнергии при эксплуатации установки, прибора и стоимости потребляемой электроэнергии.

При разработке тем, связанных с *монтажом электрооборудования*, раздел по экономике состоит из подразделов:

- а) выбор экономически целесообразного варианта организации электро-монтажных работ и построение сетевого графика производства работ;
- б) сметы затрат на приобретение электрооборудования и материалов;
- в) расчет сметы затрат на производство монтажных работ;
- г) определение трудоемкости монтажных работ, численности персонала и его фонда заработной платы.

Выбор экономически целесообразного варианта проектируемого объекта выполняется при разработке следующих вопросов:

- а) определение количества и мощности силовых трансформаторов для электроснабжения;

- б) разработка электропривода установки;
- в) выбор напряжений для внешнего и внутреннего электроснабжения;
- г) разработка схемы электроснабжения предприятия или цеха;
- д) определение места размещения компенсирующих устройств;
- е) выбор средств компенсации реактивной нагрузки;
- ж) определение площади сечений жил проводов и кабелей;
- з) выбор аппаратуры управления и защиты;
- и) выбор систем освещения;
- к) расчет заземляющих устройств;
- л) выбор способов организации электромонтажных работ;
- м) разработка схем автоматизации электропривода и технологических процессов.

Рассмотрим в качестве примера, как производится выбор количества и мощности силовых трансформаторов.

В общем случае расчет осуществляется путем технико-экономических сравнений вариантов. При этом пользуются данными годовых суммарных приведенных затрат.

При единовременных капиталовложениях (для сроков строительства в пределах до 1 года) и постоянных ежегодных эксплуатационных расходах годовые приведенные затраты вычисляются по формуле

$$Z = C_3 + \frac{1}{T_n} K = C_3 + E_n K = C_3 + 0,12K, \quad (14.1)$$

где C_3 — полная стоимость ежегодных эксплуатационных расходов производства при номинальной работе, тыс. руб./год; K — единовременные капитальные вложения, тыс. руб.; T_n — нормативный срок окупаемости, равный 6,7 года; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (принимается равным 0,12).

При сроках строительства свыше 1 года и постоянных ежегодных издержках производства также следует пользоваться формулой (14.1), но в качестве капитальных вложений принимать их суммарное значение

$$K_{пр} = \sum_{t=1}^{T_c} K_t (1 + E_n)^{T_c - t},$$

где T_c — период строительства, год; K_t — капитальные вложения по годам, тыс. руб.; t — расчетный период, год.

Затраты по каждому варианту подсчитываются по формуле (14.1). Полученные при расчетах значения сравниваются и выбирается вариант с минимальными затратами.

14.2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОГО ВАРИАНТА

Рассмотрим в качестве примера экономическое обоснование выбора установки компенсирующих устройств в проектируемом цехе или

на предприятии с определением срока окупаемости устройств, компенсирующих реактивные нагрузки.

Годовая потребность в электроэнергии по проектируемому объекту

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_o.$$

Годовой расход электроэнергии силовыми приемниками

$$\mathcal{E}_d = P_{d \max} T,$$

где $P_{d \max}$ — расчетная активная мощность силовых электроприемников, кВт; T — время использования максимальной нагрузки, ч.

Годовой расход электроэнергии для освещения

$$\mathcal{E}_o = P_{o \max} T_o,$$

где $P_{o \max}$ — активная мощность нагрузки осветительных приборов, кВт; T_o — время работы внутреннего освещения, которое при односменной работе равно 800 ч, двухсменной — 2500 ч, трехсменной — 4700 ч.

Плата энергосистеме за потребляемую электроэнергию до компенсации реактивной нагрузки

$$\Pi_1 = (aP_{\max} + b\mathcal{E}_r) \left(1 + \frac{K_n}{100}\right),$$

где a — основная ставка за 1 кВт максимальной мощности (для Белглавэнерго $a = 36$ руб.); $P_{\max}$ — расчетная активная мощность силовых приемников и осветительных приборов, кВт; b — дополнительная ставка за 1 кВт·ч электроэнергии, учтенной счетчиком ($b = 0,012$ руб/(кВт·ч)); K_n — коэффициент надбавки за сложившийся $\text{tg}\varphi$.

Плата за потребляемую электроэнергию после компенсации реактивной нагрузки

$$\Pi_2 = (aP_{\max} + b\mathcal{E}_r) \left(1 - \frac{K_c}{100}\right),$$

где K_c — коэффициент скидок за поддержание $\text{tg}\varphi$ установленным договором.

Прибыль предприятия за счет снижения платы энергосистеме

$$\mathcal{U} = \Pi_1 - \Pi_2.$$

Затраты на приобретение и монтаж компенсирующего устройства

$$Z_{к.у} = C_{к.у} + Q C_m,$$

где $C_{к.у}$ — стоимость компенсирующего устройства, руб.; Q — мощность компенсирующего устройства, Мвар; C_m — цена монтажа 1 Мвар, руб/квар.

При $U = 0,38$ кВ $C_m = 9$ руб/Мвар, а при $U = 6-10$ кВ $C_m = 5$ руб/Мвар. Срок окупаемости компенсирующего устройства

$$T_{ок} = \frac{Z_{к.у}}{\mathcal{U}}.$$

Коэффициент экономической эффективности от внедрения компенсирующего устройства

$$E = \frac{1}{T_{ок}}$$

При $E \geq E_n$ и $T_{ок} \leq T_n$ установка компенсирующего устройства целесообразна.

Изложенной методикой экономический эффект обеспечивается только за счет снижения платы за электроэнергию. В то же время в результате установки КУ снижаются потери мощности и энергии, уменьшаются площади сечения проводников, число и мощность трансформаторов, что также должно учитываться при полном расчете экономического эффекта.

14.3. СМЕТЫ ЗАТРАТ НА ПРИОБРЕТЕНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Сметы разрабатываются на основе составленных спецификаций и графической части проекта. Заданием может быть предусмотрено и определение сметной стоимости сооружения электроустановки. В этом случае в смете необходимо предусмотреть разделы: электрооборудование и монтажные работы; материалы, не учтенные сборником 8 (СНИП IV-6-82. Сметные нормы и правила). В табл. 14.1 и 14.2 даны примеры смет. Некоторые стоимостные показатели электрооборудования и сетей приведены в табл. 14.3-14.7.

Таблица 14.1
Сводка затрат на приобретение электрооборудования

Номер прейс-куранта и позиции	Оборудование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.		Категория ремонтной сложности	
				единицы	всего	единицы	всего
15-05 поз. 01-013	Трансформатор ТМЗ-630/10У1	шт.	1	2035	2035	18	18
15-05 поз. 10-003 № 6	Шкаф ввода высокого напряжения типа ВВ2	шт.	1	280	280	2	2
15-05 поз. 10-004 № 4	Шкаф ввода КН-4	шт.	1	870	870	2	2
15-08 поз. 6-002	Конденсаторная установка типа УК-0,38-150У3	шт.	1	1785	1785	3	3
И т.д.							
Итого:					13935		236,1

Таблица 14.2

Завод эффективных промышленных конструкций комбината "Минскстрой"

Локальная смета № 1

На приобретение и монтаж электроосвещения склада эмульсола

Сметная стоимость 0,14 тыс. руб.,

в том числе оборудование 0,01 тыс. руб.,

монтажные работы 0,13 тыс. руб.

Нормативная условно-чистая продукция (НУЧП) 0,06 тыс. руб.

Обоснование: спецификация № 1
Составлена в ценах 1982 г.

№ п.п.	Шифр и номер позиции УСН, расче- нок и др.	Наименование и харак- теристика оборудо- вания и монтажных ра- бот	Еди- ница изме- ре- ния	Коли- чест- во	Масса брутто, нетто	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.									
						обору- дова- ния	общая	всего	монтажных работ в том числ ^о	дова- ния	обору- дова- ния	всего	монтажных работ в том числ ^о	основ- ная	эксплуа- тация	основ- ная	машин, в том числе	зарпла- та	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					

I. Оборудование и монтажные работы

1	15-04 01-058; 01-072; В-525-1	Выключатель автоматический АЕ-2034-10У3	шт.	1	—	—	9,55	2,02	0,9	0,05	10	2	1	—
2	8-589-1	Монтаж светильника на крюке	шт.	2	—	—	—	1,86	0,37	0,83	—	4	1	2
3	8-594-1	Монтаж светильника на кронштейне	шт.	2	—	—	—	2,78	0,58	0,58	—	6	1	1
4	8-400-1	Монтаж кабеля силового площадью сечения до 10 мм ² на скобах	100 м	0,34	—	—	—	60,8	23,4	22,8	—	21	8	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	8-153-5	Разделки для кабеля силового плоскоребра сечением до 16 мм ²	шт.	8	—	—	—	3,55	1,08	—	—	28	9	
6	8-591-3	Выключатель однополюсный брызгозащищенный	шт.	2	—	—	—	0,50	0,38	0,01	—	1	1	—
	9,2 %	Итого									10	62	21	11
	87 %	Начисление на оборудование									1			
	0,04	Накладные расходы на заработную плату										18		
		Начисления на высоту помещения										1		
		Итого										81		
		Плановые накопления 8 %										6		
		Итого по разделу:									11	87	21	11
		НУЧП = (21+11) × 0,2 + (21+11) × 0,44 = 56												
II. Материалы, не учтенные сборником														
1	24-05; доп. 5; 1-1183	Кронштейн для подвески светильника У-116 1,48×1,072	шт.	2	—	—	—	1,59	—	—	—	3		
2	ССЦ, ч. V, с. 199	Выключатель однополюсный 0-1-1 Р44-17-6-220	шт.	2	—	—	—	0,96	—	—	—	2		
3	ССЦ, ч. V, с. 176, п. 38	Светильник подвесной ППД-200	шт.	2	—	—	—	7,07	—	—	—	14		
4	ССЦ, ч. V, п. 41	То же, ППР-100	шт.	2	—	—	—	5,57	—	—	—	11		
5	ССЦ, ч. V, с. 192	Лампа накаливания Б-220-150	шт.	2	—	—	—	0,119						
6	ССЦ, ч. V, с. 192	То же, Б-220-200	шт.	1	—	—	—	0,144						
7	ССЦ, ч. V, с. 191	То же, Б-220-60	шт.	1	—	—	—	0,099						
8	15-09; 3-037	Кабель АВВГ 2х2,5 мм ² 0,025х1,02 122х1,126	км	0,026	—	—	—	137,37	—	—	—	4		
9	15-09; 3-038	То же, 3х2,5 мм ² 170х1,126	км	0,005	—	—	—	191,42	—	—	—	1		
10	15-09; 3-038	Кабель АВВГ 4х2,5 мм ² 170х1,2х1,126	км	0,004	—	—	—	229,70	—	—	—	1		
	8 %	Итого										36		
		Плановые накопления										3		
		Итого по разделу:										39		
		Всего по смете		137										
		Оборудование		11										
		Монтажные работы		87										
		Материалы, не учтенные сборником		39										
		НУЧП		56										

Таблица 14.3

Основные стоимостные показатели низковольтных комплектных устройств со стоимостью материальных ресурсов, учитываемых в объеме монтажных работ для I территориального района

Наименование устройства	Тип	Комплексная цена, руб.	В том числе основная зарплата, руб.	Оптовая цена, руб.
1	2	3	4	5
Вводно распределительные устройства	ВРУ1-22-55УХЛ4	246	14,9	201
	ВРУ1-25-65УХЛ4	235	14,8	191
Распределительные панели	ВРУ1-41-00УХЛ4	141	10,3	112
	ВРУ1-45-01УХЛ4	141	10,3	118
	ВРУ1-50-00УХЛ4	272	17,1	222
	с блоком автоматического управления освещением			
Распределительные пункты силовые, устанавливаемые в нише	ПР11-3045-21У3	294,1	1,58	262,1
	ПР11-3051-21У3	252,0	1,58	204,0
То же, на стене или колонне	ПР11-3057-21У3	330,0	1,58	298,1
Щиток осветительный	ОЩ-6УХЛ4	22,0	1,62	57,0
	ОЩ-12УХЛ4	36,5	1,62	18,0
	ОЩВ-12АУХЛ4	55,8	1,62	33,0
Щиток промышленный	ОЩВ-6	41,3	1,62	36
Щиток лабораторный	Р-975	46	1,7	38
Ящики однофидерные, устанавливаемые на стене или колонке	ЯВЗ-21	28,8	1,39	23,5
	ЯВЗБ-31-1	33,3	1,55	27
	ЯВШ-3х60	29,3	1,51	24
То же, устанавливаемые на полу	ЯВЗ-23	41,3	2,11	30,5
	ЯВШ-2х100	38	1,64	30
Ящики с рубильниками и предохранителями, устанавливаемые на стене	ЯРВ-6113	12,1	1,55	7,4
	ЯТВ-1311М	15,8	1,39	11,5
	ЯРП-20	8,82	1,55	4,3
	ЯПВ-323-2М	56	2,05	47
То же, устанавливаемые на полу	ЯРВ-6113	14,3	1,74	7,4
	ЯВПЗ-60	22,4	1,64	15,5
Ящики ЯБПВ на стене	ЯБПВ-у-2	22,7	2,05	16

Таблица 14.4

Основные стоимостные показатели уличного освещения для I территориального района

Наименование устройства	Тип светильников, марка проводников, площадь сечения, мм ²	Стоимость, руб.	В том числе основная зарплата, руб.
1. Воздушная сеть на тросах на 1 км	АП-16	1700	383
	АП-35	1870	383
2. Светильники на кронштейне на один рожок с лампами накаливания и газоразрядными	СПП-200М-У1	13,53	1,93
	СЗП-500МУ1	14,63	1,93
	СПО-2003У3	9,13	1,93
	РКУ01-250/Б23-04-У1	16,9	0,79
	РКУ01-400/Б23-03-У1	19,8	0,79
	ЖКУ01-400-001-У1	43,80	0,79
	ЖКУУ02-400-001-У1	64,00	0,79
3. Светильники наружного освещения с лампами накаливания на тросе и газоразрядными	СПП-200МУ1	7,85	0,39
	СЗП-500МУ1	8,95	0,39
	СПО-200-2-У1	3,45	0,39
	СЗЛ-300-1МУ1	12,48	0,39
	СЗП-250 МН	13,60	0,18
	СПОР-250	13,65	0,18
4. Кабель для наружного освещения до 1 кВ в траншее	3х6	850	87,44
	3х10	930	87,44
	3х16	1030	87,44

Таблица 14.5

Основные стоимостные показатели прокладки 1 км кабельной линии в траншее для I группы грунтов

Марка кабеля	Площадь сечения, мм ²	Стоимость рытья траншеи и устройства защиты, руб.	Стоимость прокладки кабеля, руб.	В том числе основная зарплата, руб.
1 кабель в траншее				
ААБЛ-10 кВ	3х16	307	2360	83,54
ААШв-10 кВ	3х25	307	2320	86,90
АСБ-10 кВ	3х35	307	5040	108,50
ААБЛ-6 кВ	3х50	307	2510	101,52
ААШв-6 кВ	3х70	307	2700	86,90
АСБ-6 кВ	3х95	307	4510	108,66
1-2 кабеля в траншее				
ААБЛ-1 кВ	3х120+1х35	241	3510	116,99
ААШв-1 кВ	3х150+1х50	241	3950	99,67
АСБ-1 кВ	3х185+1х50	241	5710	116,99
ААШв-1 кВ	3х240	241	4750	120,74
3 кабеля в траншее				
ААШв-1 кВ	3х6	344	920	99,67
ААБЛ-В-1 кВ	4х10	344	1530	99,67
ААШв-1 кВ	4х16	344	1340	99,67
ААШв-В-1 кВ	3х25+1х16	344	1420	99,67
АСБ-1 кВ	3х35	344	2130	99,67
4 кабеля в траншее				
ААШв-1 кВ	3х50+1х25	402	1850	99,67
АСБ-1 кВ	4х70	402	3790	116,99

Таблица 14.6

Основные стоимостные показатели типовых трансформаторных подстанций 6—10/0,4 кВ для I территориального района

Тип ТП	Количество и мощность трансформаторов, кВ·А	Стоимость монтажа, руб.	В том числе основная зарплата, руб.	Стоимость оборудования, руб.
В-21-160 МЗ	1х160	600	161	2060
В-41-400 МЗ	1х (250—400)	950	230	3970
В-42-400 МЗ	2х160	1300	384	5500
В-42-400 МЗ	2х250	1320	388	6400
В-42-400 МЗ	2х400	1390	392	7200
К-31-630 МЗ	1х630	600	174	4090
К-42-630	2х630	1290	361	8240
КСК-42-630 МЗ	2х630	940	266	10250

с АВР на н/н

Таблица 14.7

Основные стоимостные показатели низковольтных комплектных устройств, стоимость оборудования которых не учитывается в объеме монтажных работ для I территориального района

Наименование устройства	Тип	Стоимость установки, разводки и подключения внешней сети, руб.	Основная зарплата, руб.	Стоимость оборудования, руб.	В том числе аппаратуры и приборов, руб.
Пункты распределительные, устанавливаемые на стене	СУ-9521-11	12,6	6,48	94	65
То же, на полу	СУ-9522-1В	8,1	3,64	76	42
Пункты распределительные, устанавливаемые на стене	СУ-9543-13	13	6,06	124	86
То же, с автоматическим выключением	СУ-9521-11	15,6	6,52	94	65
Панели распределительных щитов с рубильниками	ПР-11 взамен ПР-9111	7,02	3,14	52	12
Щафы распределительные силовые	ШРС1-2043	22,2	6,14	50	—
То же, с автоматическим выключением	ШР11-73702	22,2	8,14	94	19,9
Ящики управления асинхронными двигателями	ЯУ5110-03А2А	9,54	4,32	58,3	8,5
То же, с автоматическим выключением	ЯУ5114-03А2А	14,3	7,06	88	18,1
Панели распределительных щитов с рубильниками	ЯУ5122-03А2А	12,9	6,2	90	19,4
То же, с автоматическим выключением	ЩО-70-1	17,3	0,29	108	32
То же, с автоматическим выключением	ЩО-70-4	12,7	5,41	97	27
То же, с автоматическим выключением	ЩО-70-5	22,2	11	203	114
То же, с автоматическим выключением	ЩО-70-16	17	7,67	120	38
Панель АВР	ЩО-70-38	14,9	9,37	145	63

14.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ И ФОНДА ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

В этом разделе рассчитываются:

а) суммарный объем работ по ремонту и обслуживанию оборудования

$$\Sigma r = r_1 + r_2, \quad (14, 2)$$

где r_1 — категория ремонтной сложности, берется по итогу из табл. 14.1; r_2 — категория ремонтной сложности электротехнической части технического оборудования, берется по итогу из табл. 14.8;

б) трудоемкость ремонтных операций по объекту:

$$\Sigma T_p = \Sigma (P_m t_m + P_{cp} t_{cp} + P_k t_k),$$

где P_m, P_{cp}, P_k — среднее количество соответственно малых, средних и капитальных ремонтов в год; t_m, t_{cp}, t_k — нормы времени на проведение соответственно малого, среднего и капитального ремонтов на одну ремонтную единицу (принимается по ППР $t_m = 1$; $t_{cp} = 5$; $t_k = 11$);

Таблица 14.В

Категории ремонтной сложности электротехнической части технологического оборудования

Оборудование	Номинальная мощность, кВт	Количество, шт.	Категория ремонтной сложности	
			единицы	всего
Кран-балка 0,5 т	1,4	2	1	2
Пресс эксцентриковый К 117	7,5	6	1,5	9
Пресс кривошипный КВ 2324	3,0	11	2	22
Пресс кривошипный ООК	22,0	2	8,5	17
Токарно-винторезный станок 16К20	11,5	2	12	24
Наждачный станок 3М634	3,0	1	1	1
Галтовочный барабан ГТСХМ	7,5	1	3,5	3,5
Шлифовальный станок 3М 1В0	7,5	2	3,5	7
Вертикально-протяжной станок 7Б610	11,0	1	6,5	6,5
Пресс кривошипный К120	11,0	4	2,5	10
Гильотинные ножницы 4А311В	11,0	1	5	5
То же	7,5	1	3,5	3,5
Автомат листоштамповочный АБ6224	45	2	2	4
Пресс-автомат К В001	7,5	2	2	4
Автомат-комплекс АА 6230	7,5	1	6	6
Автомат гибочный А 7215	7,5	2	1,5	3
Заточной станок 270 6А	0,65	1	4,5	4,5
Моечная машина	7,5	2	4	8
Зачистные ножницы	3,0	2	1,8	3,6
Валялы двухвалковые	3,0	2	1,3	2,6

$r_2 = 146,2$

Таблица 14.9
Фонд заработной платы электротехнической службы (электромонтеров)

Колич- чест- во	Раз- ряд	Часо- вая тариф- ная ставка, руб.	Годо- вой фонд ра- бот- ного вре- мени, ч	Сум- ма за- работ- ной платы по та- риффу, руб.	Пре- мия (40%), руб.	Основ- ная зара- бот- ная плата, руб.	Допол- нитель- ная за- работ- ная пла- та 8%, руб.	Общий фонд за- работ- ной платы, руб.	Отчис- ления на со- циаль- ное стра- хова- ние, руб.	Фонд мате- риаль- ного поощ- рения, руб.	Фонд зара- бот- ной платы, руб.
1	6	0,767	1883,2	1444	577,6	2021,6	161,7	2183,3	320,9	436,6	2619,9
1	5	0,67	1883,2	1261,7	504,68	1766,3	141,3	1917,6	281,8	383,5	2301,1
1	4	0,596	1883,2	1122,3	488,9	1571,2	125,7	1696,9	249,4	339,3	2036,3
2	3	0,507	1883,2	1909	763,6	2672,6	213,8	2886,4	424,3	577	3463
Всего											
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10420,3

в) количество необходимого ремонтного персонала

$$R_p = \frac{\sum T_p}{F_{\text{эф}} K_{\text{пр}}},$$

где $F_{\text{эф}}$ — эффективный фонд рабочего времени 1 человека, ч; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент перевыполнения норм выработки, принимается равным 1,1;

г) количество дежурного персонала

$$R_{\text{деж}} = \frac{\sum r C_n}{H_p},$$

где C_n — сменность работы оборудования; H_p — норматив обслуживания на 1 рабочего, ремонтных единиц (принимается для цехов холодной обработки металлов 900, горячей обработки — 650, деревообрабатывающих цехов — 550);

д) фонд заработной платы электротехнической службы определяется по форме табл. 14.9 (приводится с примером заполнения):

$$\Phi ЗП = RT_p F_{\text{эф}} K_{\text{п}} + Z_o K_{\text{доп}} + Z_{\text{зп}} K_{\text{пр}}, \quad (14.3)$$

где R — численность персонала, чел.; T_p — тарифная ставка, руб./ч; $K_{\text{п}}$ — коэффициент премиальной надбавки; Z_o — зарплата основная по тарифу, руб.; $K_{\text{доп}}$ — коэффициент дополнительной надбавки к зарплате; $Z_{\text{зп}}$ — зарплата с учетом дополнительной надбавки, руб.

Основная зарплата с учетом дополнительной надбавки определяется из выражений

$$Z_o = RT_p F_{\text{эф}} K_{\text{п}};$$

$$Z_{\text{зп}} = Z_o + Z_o K_{\text{доп}};$$

е) общее количество персонала

$$R = R_p + R_{\text{деж}};$$

ж) среднемесячная заработная плата

$$Z_{\text{ср}} = \frac{\Phi ЗП}{R \cdot 12}.$$

Расчет себестоимости электроэнергии ведется следующим образом.

1. Определяется стоимость 1 кВт·ч потребленной энергии:

$$C_{\text{эн}} = P_2 / \mathcal{E}_r,$$

где P_2 — плата за электроэнергию после компенсации, руб./кВт·ч; $\mathcal{E}_r$ — годовое потребление электроэнергии, кВт·ч.

2. Рассчитываются дополнительные затраты по электроснабжению предприятия, которые состоят из расходов:

а) на основные и вспомогательные материалы для проведения ППР энергетического оборудования

$$Z_m = \frac{20 \cdot \Phi ЗП}{100},$$

где $\Phi ЗП$ — общий фонд зарплаты, подсчитывается по формуле (14.3);

б) на потери электроэнергии в сетях и трансформаторах:

$$Z_n = \frac{2P_2}{100};$$

в) на текущий ремонт и обслуживание электрооборудования:

$$Z_{\text{т.р}} = \frac{5C_{\text{об}}}{100},$$

где $C_{\text{об}}$ — стоимость электрооборудования, руб., берется по итогу табл. 14.1;

г) на амортизацию электрооборудования и устройств:

$$Z_a = \frac{B,5 C_{\text{об}}}{100}.$$

3. Суммарные дополнительные затраты на электроснабжение определяют из выражения

$$\sum Z_d = Z_m + Z_n + Z_{\text{т.р}} + Z_a + \Phi ЗП.$$

4. Дополнительная стоимость 1 кВт·ч электроэнергии подсчитывается по формуле

$$C_D = \frac{\sum Z_A}{Z_r}$$

5. Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии определяется суммой ее основной и дополнительной стоимости

$$C_6 = C_{3н} + C_D$$

14.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Экономический раздел проекта должен заканчиваться сведением в таблицу основных показателей, значения которых меняются в зависимости от темы дипломного проекта (табл. 14.10, 14.11, 14.12 с примерами заполнения).

Таблица 14.10
Технико-экономические показатели электрохозяйства

Показатели	Количество	Примечание
Количество установленного электрооборудования, рам. ед.	3000	
Мощность установленная электрооборудования, кВт	480	
Сменность работы, раб. смен	2	
Годовой расход электроэнергии, кВт·ч	900 000	
Стоимость электрооборудования, руб.	75 000	
Стоимость электромонтажных работ, руб.	15 000	
Численность рабочих электрослужбы, чел.	5	
Фонд зарплаты, руб.	850	
Среднемесячная зарплата рабочего, руб.	210	
Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	0,01	

Таблица 14.11
Технико-экономические показатели макета

Показатели	Количество	Примечание
Масса прибора, установки, кг	25	
Габариты, м	1x0,8x0,5	
Мощность установленная электрооборудования, кВт	3	
Годовой расход электроэнергии, кВт·ч	4000	
Стоимость потребляемой электроэнергии за год, руб.	80	
Себестоимость изготовления прибора, установки, руб.	120	
Оптовая цена, руб.	170	
Уровень рентабельности, %	3	

Таблица 14.12
Технико-экономические показатели монтажа электрооборудования

Показатели	Количество	Примечание
Стоимость электромонтажных работ:		
общая, руб.	45 000	
материалов, не учтенных сборником, руб.	22 000	
монтажных работ, руб.	23 000	
Трудоемкость работ, чел.-дн	18 000	
Среднегодовая выработка на одного рабочего, руб.	25 000	
Фонд зарплаты рабочих, руб.	2700	
Среднемесячная зарплата одного рабочего, руб.	220	
Продолжительность выполнения работ, дн.	100	
Уровень индустриализации электромонтажных работ, %	30	

Роль технико-экономических показателей состоит в том, что на их основе дипломник сам производит оценку полученных результатов. Рекомендуемый перечень показателей может быть расширен по согласованию с руководителем для наиболее полного отражения индивидуальности проекта.

14.6. СПЕЦИФИКАЦИИ И ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Спецификации составляются отдельно на силовое электрооборудование, электрическое освещение и электрооборудование трансформаторных подстанций на основании графической части проекта. В спецификацию не включается электрическое оборудование, поставляемое комплектно с технологическим оборудованием. Спецификации необходимы для составления смет, которые разрабатываются дипломниками в разделе "Технико-экономические расчеты".

Спецификации рекомендуется оформлять на листах формата А4 с основной надписью по ГОСТ 21.104-79 (форма 1) в виде таблицы (табл. 14.13) шириной 185 мм.

Таблица 14.13
Спецификация на силовое электрооборудование механического цеха

Марка, поз.	Обозначение	Наименование	Количество	Масса единицы, кг	Примечание
1	МПТ.0303.25.100.ЭМ	Пункт распределительный ПР11-3032-21УЗ, 50 Гц, 380 В	2	60	
2	То же	Шкаф управления 1ЩНБ-163.3101.000	1	70	
3	— " —	Сборка магнитных пускателей ИНБ-1623102000 И т.д.	1	50	

Для облегчения пользования спецификациями рекомендуется их составлять по разделам.

Раздел 1. Силовое оборудование:

- а) электродвигатели и силовые электроприемники;
- б) аппаратура управления, пускорегулирующая аппаратура и защиты;
- в) прочее электрооборудование.

Раздел 2. Комплектные устройства:

- а) комплектные устройства заводского изготовления;
- б) электроконструкции, изготавливаемые в МЭЗ.

Раздел 3. Основные материалы:

- а) кабели, провода и шины;
- б) материалы для соединения и оконцевания кабелей и проводов;
- в) сталь, трубы и метизы.

При заполнении спецификаций необходимо учесть следующие рекомендации.

В графе "Марка, поз." указывается порядковый номер позиции по выноском с изображением на чертежах электрооборудования, комплектного устройства или материала.

В графе "Обозначение" приводятся обозначения соответствующих конструктивных чертежей, планов, разрезов или электрических схем.

В графе "Наименование" дается краткое описание электрооборудования, его тип и характеристика, а также обозначается стандарт.

В графе "Количество" указывается в штуках количество единиц электрооборудования или комплектных устройств. Единица измерения не указывается. Для материалов в графе "Примечание" в этом случае ставится буква "М", в эту же графу могут вноситься и другие дополнительные сведения.

Спецификации подшиваются в пояснительную записку перед экономической частью.

На электрооборудование, аппаратуру и материалы электрических схем в соответствии с ГОСТ 2.701-84 составляется перечень элементов, который также должен оформляться на отдельных листах формата А4. Допускается в учебных проектах размещать их на одном листе с электрической схемой. Перечень элементов наряду со спецификациями учитывается при технико-экономических расчетах (п. 2.2).

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Степень защиты электрического оборудования напряжением до 72,5 кВ по ГОСТ 14254-80

Электрооборудование характеризуется по степени защиты (IP) от проникновения твердых тел и пыли внутрь оболочки (1-я цифра), а также встроеного в оболочку оборудования от попадания воды (2-я цифра):

IP00 — защиты отсутствуют;

IP01 — защита от капель воды;

IP10 — защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям. Защита оборудования от попадания крупных твердых посторонних тел диаметром не менее 50 мм. Защита от воды отсутствует;

IP11 — то же, защита от капель воды;

IP12 — то же, от капель воды при наклоне до 15°;

IP13 — то же, защита от дождя;

IP20 — защита от возможности соприкосновения пальцев с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и попадания твердых посторонних тел диаметром не менее 12 мм. Защита от воды отсутствует;

IP21 — то же, защита от капель воды;

IP22 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP23 — то же, защита от дождя;

IP30 — защита от соприкосновения инструмента, проволоки толщиной более 2,5 мм с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и попадания мелких тел диаметром не менее 2,5 мм. Защита от воды отсутствует;

IP31 — то же, защита от капель воды;

IP32 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP33 — то же, защита от дождя;

IP34 — то же, защита от брызг;

IP40 — защита от соприкосновения инструмента, проволоки толщиной более 1 мм с токоведущими частями внутри оболочки и попадания мелких тел толщиной не менее 1 мм. Защита от воды отсутствует;

IP41 — то же, защита от капель воды;

IP42 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP43 — то же, защита от дождя;

IP44 — то же, защита от брызг;

IP50 — полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и неполная защита оборудования от пыли. Защита от воды отсутствует;

IP51 — то же, защита от капель воды;

IP54 — то же, защита от брызг;

- IP55 — то же, защита от водяных струй;
 IP56 — то же, защита от волн воды;
 IP60 — полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и полная защита оборудования от попадания пыли. Защита от воды отсутствует;
 IP65 — то же, защита от водяных струй;
 IP66 — то же, защита от волн воды;
 IP67 — то же, защита от погружения в воду;
 IP68 — то же, защита при длительном погружении в воду.

2. Основные условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах по ГОСТ 21.614-88

Наименование	Изображение
1	2
Линия проводки с указанием рода тока, напряжения, материала, способа прокладки	
Линия заземлений, зануления	
Заземлители	
Линия цепей управления	
Проводка гибкая	
Проводка в трубах, прокладываемых скрыто с указанием отметки заложения	
Проводка в трубе, прокладываемой открыто	
Линия, выполняемая шинами и шинопроводами	
Шинопровод на стойках	
Линия троллейная	

1	2
Проводка в трубе, прокладываемой от отметки трассы вверх	
Проводка вертикальная	
Коробка, ящик протяжной	
Щиток групповой рабочего освещения	
Щиток групповой аварийного освещения	
Ящик с аппаратурой	
Устройство:	
а) с электродвигателем	
б) с многодвигательным электроприводом	
в) с трансформатором	
Установка комплектная конденсаторная	
Устройство электронагревательное	

Примечание. Размеры указаны для чертежей, выполненных в масштабе 1:100.

3. Основные условные графические изображения на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения по ГОСТ 21.608-84

Наименование	Изображение
1	2
Светильники с люминесцентными лампами, установленные в линию с указанием количества и типа светильников, а также количества и мощности ламп в светильнике	
Щелевой светильник-световод. Залитый торец обозначает вводное устройство с источником света	
Автоматический выключатель	
Шкаф, ящик управления	
Кнопка управления	
Трансформатор понижающий малой мощности	
Выключатель для открытой установки: а) однополюсный	
б) двухполюсный	
Переключатель на два направления: а) однополюсный	
б) двухполюсный	
Розетка штепсельная для открытой установки: а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	
Блок с выключателем и двухполюсной штепсельной розеткой	
Нормируемая освещенность от общего освещения	300 Лк

Окончание прил. 3

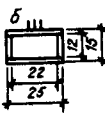
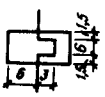
1	2
Обозначение классов взрыво- и пожароопасных зон, категорий и группы взрывоопасной смеси	
Сведения о светильниках: количество-тип количество × мощность, Вт	30-ЛПО 02- $\frac{2 \times 40}{4}$
высота установки, м	
Количество проводов в линии (например, три)	
Трос и концевое крепление троса	
Люстра	
Обозначение способов прокладки, марок проводников и площадей сечений сети: а) марка проводников; б) площадь сечения, мм ² ; в) способ прокладки	а-б-в
Надписи на линиях питающей и групповой сети: а) номер линии или группы; б) марка, количество и площадь сечения проводников; в) способ прокладки	а-б-в

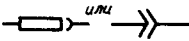
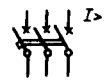
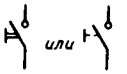
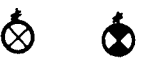
Примечание. Размеры указаны для чертежей, выполненных в масштабе 1:50.

4. Основные обозначения в электрических схемах по ГОСТ 2.710-81...2.756-76

Наименование	Обозначение	
	графическое	буквенное
1	2	3
Конденсатор постоянной емкости		C
Резисторы: а) постоянный		R
б) переменный		
Предохранитель плавкий		FU

1	2	3
Катушка индуктивности		L
Катушка контактора, реле, пускателя:		K
реле указательного		KN
пускателя, контактора		KM
электромагнита		YA
Контакт замыкающий		
Контакт размыкающий:		
а) общее обозначение		
б) контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим		
Контакт переключающий		
Контакт замыкающий с замедлителем:		
а) при срабатывании		
б) при возврате		
Контакт размыкающий с замедлителем:		
а) при срабатывании		
б) при возврате		
в) при срабатывании и возврате		
Диод, выпрямительный столб		VD

1	2	3
Элемент или батарея из гальванических или аккумуляторных элементов		GB
Электронагреватели, установки электротермические		EK
а) электронагреватель		
б) электропечь трехфазная		
Контакт контактного соединения:		
а) разборного		
б) неразборного		
Машины электрические:		
а) генератор трехфазный		G
б) двигатель трехфазный с соединением обмоток статора в звезду		M
Воспринимающая часть электро-теплого реле		KK
Обмотка реле:		
а) максимального тока		KA
б) минимального напряжения		KV

1	2	3
Контакт контактора: а) замыкающий		KM
б) размыкающий дугогасительный		
Соединение контактное разъемное		X
Контакт разъединителя		QS
Контакт выключателя		SQ
Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабаты- ванием максимального тока		QF
Выключатель ручной с замыкаю- щим контактом		SB
Переключатель однополюсный многопо- зиционный (например, 6-позиционный)		SA
Приборы измерительные показы- вающие, например, амперметр, вольтметр		PA, PV
Токосъемник троллейный		XA
Лампа накаливания осветительная и сигнальная		E, H

5. Пример заполнения титульного листа пояснительной записки

Министерство народного образования БССР
Минский заочный политехникум

Специальность "Монтаж и эксплуатация электрооборудования
предприятий и гражданских зданий"

ПРОЕКТ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

Пояснительная записка
дипломного проекта

Руководитель

Консультанты

Разработчик

1990

6. Пример заполнения содержания пояснительной записки

СОДЕРЖАНИЕ									
Введение..... 3									
1. Общая часть..... 6									
2. Электрооборудование и силовая часть цеха..... 12									
3. Электрическое освещение цеха..... 26									
4. Электроснабжение цеха и качество электроэнергии..... 39									
5. Охрана труда и окружающей среды..... 46									
6. Организация электромонтажных работ..... 51									
7. Экономическая часть..... 56									
8. Расчет на ЭВМ мощности компенсирующей установки и выбор мощности силового трансформатора с учетом компенсации..... 63									
9. Расчет на ПМК мощности электродвигателя насоса..... 66									
10. Экономия электроэнергии..... 68									
Список литературы..... 70									
185									
7 10 23 15 10					50				
Изм. Лист № докум. Подпись Дата					МПТ.0303.452.000ПЗ				
Разработал					Пояснительная записка				
Проверил									
Т. контроль									
Н. контроль									
Утвердил									
					Лит Лист Листов				
					У 2				
					5 5 5 15 20				

7. Технические данные шкафов распределительных серии ШР-11

Тип и исполнение шкафа	Номинальный ток рубильника на вводе, А	Длительная нагрузка шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей			
			на вводе ПН2-400	на отходящих линиях		
				НПН2-60	ПН2-100	ПН2-250
1	2	3	4	5	6	7
Тип рубильника на вводе Р17-353						
ШР11-73701-22У3			—	5	—	—
ШР11-73702-22У3	250	250	—	—	5	—
ШР11-73703-22У3			—	2	3	—

Окончание прил. 7

1	2	3	4	5	6	7
ШР11-73701-54У2			—	5	—	—
ШР11-73702-54У2	250	200	—	—	5	—
ШР11-73703-54У2			—	2	3	—
Тип рубильника на вводе Р17-373						
ШР11-73504-22У3			—	8	—	—
ШР11-73505-22У3			—	—	В	—
ШР11-73506-22У3			—	—	—	В
ШР11-73707-22У3			—	—	3	2
ШР11-73708-22У3			—	—	—	5
ШР11-73509-22У3	400	400	—	4	4	—
ШР11-73510-22У3			—	2	4	2
ШР11-73511-22У3			—	—	6	2
ШР11-73512-22У3			1	В	—	—
ШР11-73513-22У3			—	—	В	—
ШР11-73514-22У3	400	300	—	—	—	В
ШР11-73515-22У3			—	4	4	—
ШР11-73516-22У3			—	2	4	2
ШР11-73517-22У3			—	—	6	2
ШР11-73504-54У2			—	В	—	—
ШР11-73505-54У2			—	—	В	—
ШР11-73506-54У2			—	—	—	В
ШР11-73507-54У2	400	300	—	—	3	2
ШР11-73708-54У2			—	—	—	5
ШР11-73509-54У2			—	4	4	—
ШР11-73510-54У2			—	2	4	2
ШР11-73511-54У2			—	—	6	2
ШР11-73512-54У2			—	В	—	—
ШР11-73513-54У2			—	—	В	—
ШР11-73514-54У2			1	—	—	В
ШР11-73515-54У2			—	4	4	—
ШР11-73516-54У2			—	2	4	2
ШР11-73517-54У2			—	—	6	2

8. Средние значения коэффициента использования $K_{\text{и}}$ и коэффициентов мощности $\cos\varphi$ и $\text{tg}\varphi$

Электроприемники	$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1	2	3	4
Электродвигатели вентиляторов, насосов, компрессоров, двигатель-генераторов непрерывно работающие	0,65	0,8	0,75
Электродвигатели станков универсального назначения (токарные, фрезерные, строгальные, сверлильные, долбежные)	0,14	0,6	1,33
Электродвигатели специализированных станков, станков-автоматов и агрегатных	0,22—0,25	0,65	1,17
Электродвигатели прессов, ковочных машин, очистных и галтовочных барабанов, бегунов, шаровых мельниц, однопостовых сварочных двигатель-генераторов	0,25—0,35	0,65	1,17

1	2	3	4
Электродвигатели автоматических поточных линий, транспортеров, конвейеров, элеваторов, установки ТВЧ и Г-Д	0,60	0,70	1,00
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы (краны и пр.)	0,06	0,45	1,9В
Электрические печи сопротивления, нагревательные аппараты, ванны, сушильные камеры периодического действия	0,55	0,95	0,33
Печи сопротивления непрерывного действия, конвейерные и толкательные	0,70	0,95	0,33
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35	2,67
Установки ТВЧ с ламповыми генераторами, дуговые плавильные печи	0,75	0,85	0,65
Трансформаторы дуговой сварки	0,30	0,35	2,67
Аппараты стыковой, шовной и точечной сварки, нагреватели заклепок	0,35	0,55	1,51
Многопостовые сварочные двигатели-генераторы	0,70	0,70	1,00
Лампы накаливания для освещения	0,85	1,0	—
Люминесцентные лампы для освещения	0,85	0,95	0,33

9. Значения коэффициента максимума $K_{\max}$

Эффективное значение электроприемников I_{Σ}	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

10. Технические данные силовых кабелей

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, кВ	Площадь сечения, мм ²
ААБ _л	С алюминиевой жилой, в алюминиевой оболочке с бумажной изоляцией, бронирован двумя стальными лентами с наружным покровом из пропитанной пряжи	В земле	1—35	10—800
ВВБ	С медными жилами с оболочкой и изоляцией из поливинилхлорида, с броней из двух стальных лент	В земле	0,66—3	1,5—240
АВВГ	С алюминиевой жилой с оболочкой и изоляцией из поливинилхлорида без брони	В пожароопасных помещениях	0,66—3	2,5—185
АВБ _{бшв}	С алюминиевыми жилами в оболочке из поливинилхлорида, бронирован одной оцинкованной лентой в шланге из поливинилхлорида	То же	0,66—3	4,0—240
АСБГ	С алюминиевыми жилами, с пропитанной бумажной изоляцией в свинцовой оболочке, бронирован стальными оцинкованными лентами	Внутри помещений, в тоннелях и каналах	1—10	120—240
ОСК	С медными жилами, скрученный	В воде	20	25—185
ЦАСБ и ЦСПГ	С алюминиевыми или медными жилами, с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом, в свинцовой оболочке, с защищенными покровами или без них	В саях переменного и постоянного тока	6—10	25—185

11. Технические данные силовых гибких и шланговых кабелей с резиновой изоляцией и шнуры

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, В	Площадь сечения, мм ²
ВРГ	В поливинилхлоридной оболочке, небронированной без покрова из пряжи	В сырых и особо сырых помещениях, каналах и тоннелях при отсутствии механических воздействий на кабель	660	1—10
АВРГ	В поливинилхлоридной, свинцовой или найритовой оболочке, с резиновой изоляцией, бронированной двумя стальными лентами баз наружного покрова из пряжи	То же при необходимости защиты кабеля от механических воздействий	660	1—10

Окончание прил. 11.

1	2	3	4	5
СРГ АСРГ	В свинцовой оболочке, небронированный и без покрова из пряжи, с изоляцией из резины	В сухих помещениях при отсутствии механических воздействий на кабель в каналах и тоннелях	660	1—10
КСВГ	С резиновой изоляцией и оболочкой. На жилы последовательно наложены экран из полупроводящей резины, резиновая изоляция, внешний экран из полупроводящей резины, экран из медных проводов и прорезиненная тканевая лента	Для питания передвижных токоприемников (например, экскаваторов)	6000	10—150

12. Технические данные контрольных кабелей

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Число жил	Площадь сечения, мм ²
АКРНГ	С резиновой изоляцией	В помещениях	4, 5, 7, 10	0,75—10
КУФЭ	Изоляция из фторопласта с частично или всеми экранированными жилами в общем экране	Внутри помещений	31—38	0,2—0,5
КУПКР-П	Облегченный кабель для дистанционного управления механизмами	В условиях кислых и щелочных грунтов	12, 27, 37	0,5—1
КУС	С изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины, токопроводящие жилы и оплетка из медной посеребренной проволоки	Для передачи высокочастотной энергии	1—7	0,12—0,5
КС-600 КСЗ-600	Со стекловолоконистой изоляцией, токопроводящая жила из термостойкого сплава, экраны жил и оплетка поверх кабелей из коррозионно-стойкой стальной проволоки, с экранированными жилами и без экрана	В помещениях для фиксированного монтажа при воздействии температуры до 600 °С	2—32	0,5—1

13. Технические данные проводов установочных

Марка	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, В	Площадь сечения, мм ²
АППВ	С алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, плоский, с разделительным основанием	Для неподвижной открытой прокладки	500	2,5—16
АВТ АРТ	С алюминиевыми жилами и несущим тросом с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией	Для тросовых электропроводок	660	2,5—16
АС	Голый сталеалюминиевый	Для воздушных линий электропередачи	Неограниченное	10—400
АСУ	То же, усиленный	То же	То же	120—400
АСО	То же, ослабленный	То же	То же	332—480
А	Алюминиевые или медные	То же	То же	16—600
М	голые	То же	То же	4—400
ПСО	Провода голые стальные	То же	То же	Диаметр
ПМС	То же	То же	То же	3,5—5
ПС	То же	То же	То же	5,6—9,2
ПРФ	С резиновой изоляцией в фальцованной оболочке из сплава марки АМЦ, одножильный, медный	Открытые проводки в сухих помещениях	500	1,04—4
ПВ	С медной жилой с поливинилхлоридной изоляцией	Внутри помещений	500	0,75—95
ПГВ	То же, с гибкой жилой	То же	500	0,75—95

14. Технические данные проводов монтажных

Марка провода	Характеристика	Номинальное напряжение, В	Площадь сечения, мм ²
1	2	3	4
МГВШ	С пленочной или волокнистой и поливинилхлоридной изоляцией, гибкий	380—1000	0,12—0,14
МГШВЭ	То же, но экранированный, трехжильный	380—1000	0,20—1,5
МГШВЭВ	То же, экранированный в поливинилхлоридной оболочке, одножильный	380—1000	0,14
МГШВА	То же, с волокнистой изоляцией в защитной оплетке	1000	0,20—0,75
МГП	С полиэтиленовой изоляцией, тепло-стойкий	380	0,14—0,35
МШДЛ	Однопроволочный с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	220	0,5
МЭШДЛ	То же, эмалированный	220	0,10—2,50
МГШ	Многопроволочный в оплетке из полиамидного шелка	24	0,10—0,75
			0,05—0,10

1	2	3	4
МГШД	То же, с двойной обмоткой из полиамидного шелка	60	0,05—0,50
МГШДО	Многопроволочный с двойной обмоткой и оплеткой из полиамидного шелка	127	0,05—2,50
МГШДЛ	Многопроволочный с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	220	0,05—0,50
ПМВ	С поливинилхлоридной изоляцией, однопроволочный	380	0,05—0,50
ПМВГ	То же, многопроволочный	380	0,05—0,50
МГВ	С поливинилхлоридной изоляцией, многопроволочный, одножильный	380	0,1—1

15. Технические данные проводов обмоточных

Марка провода	Характеристика	Размеры проводов, мм	
		круглых	прямоугольных
ПЭЛШКО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из шелка капрон	0,05—2,1	—
ПБО	Изолированный одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи	—	До 80
ПБД	То же, двумя слоями из хлопчатобумажной пряжи	0,38—5,2	До 80
ПБ	Изолированный несколькими слоями обмотки из телефонной или кабельной бумаги	1,00—5,2	До 80
ПСД	Изолированный двумя слоями обмотки из утоненного бесщелочного стекловолокна с пропиткой негравстойким лаком	0,31—5,2	До 80
ПСДК	То же, с пропиткой кремнийорганическим лаком	0,31—5,2	До 80
ПДА	Изолированный одним слоем асбестовой ровницы с пропиткой негравстойким лаком	1,00—5,2	До 80
ПЭЛ	С утолщенной изоляцией на основе растительных масел	0,02—2,44	—
ПЭВ-1	Изолированный высокопрочной эмалью, однослойный (винифлекс)	0,06—2,44	—
ПСДКТ-Л	Изолированный утоненной изоляцией из бесщелочного стекловолокна, наложенного двумя слоями с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком с поверхностным лаковым слоем	0,31—2,1	До 10

16. Наружные диаметры неизолированных проводов воздушных линий

Марка провода	Наружный диаметр провода, мм	Марка провода	Наружный диаметр провода, мм
A-16	51	АС-95	13,5
A-25	6,4	АС-120	15,2
A-35	7,5	АС-150	17,0
A-50	9,0	АС-185	19,0
A-70	10,7	АСО-240	21,6
A-95	12,4	АСО-300	23,5
A-120	14,0	АСО-400	27,2
A-150	15,8	АСО-500	30,2
A-185	17,5	АСО-600	33,1
АС-10	4,4	АСО-700	37,1
АС-16	5,4	АСУ-120	15,5
АС-25	6,6	АСУ-150	17,5
АС-35	8,4	АСУ-185	19,6
АС-50	9,6	АСУ-240	22,4
АС-70	11,4	АСУ-300	25,2
		АСУ-400	20,0

17. Активные сопротивления проводов и кабелей

Площадь сечения, мм ²	Активные сопротивления, Ом/км		
	медных жил	алюминиевых жил	сталеалюминиевых проводов
1	18,9	—	—
1,5	12,6	—	—
2,5	7,55	12,6	—
4	4,65	7,90	—
6	3,06	5,26	—
10	1,84	3,16	3,12
16	1,20	1,98	2,06
25	0,74	1,28	1,38
35	0,54	0,92	0,85
50	0,39	0,64	0,65
70	0,28	0,46	0,46
95	0,20	0,34	0,33
120	0,158	0,27	0,27
150	0,123	0,21	0,21
185	0,103	0,17	0,17
240	0,078	0,132	0,132
300	0,062	0,106	0,107
400	0,047	0,08	0,08

18. Активные сопротивления воздушных линий

Окончание прил. 19

Ток линии, А	Активные сопротивления, Ом/км, стальных проводов марок						
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70
0,5	14,9	11,5	—	—	—	—	—
1	15,2	11,8	—	—	—	—	—
1,5	15,7	12,3	7,9	5,26	3,66	2,75	1,70
2	16,1	12,5	8,35	5,27	3,66	2,75	1,70
3	17,4	13,4	9,5	5,28	3,67	2,75	1,70
4	18,5	14,3	10,8	5,30	3,69	2,75	1,70
5	20,1	15,5	12,3	5,32	3,70	2,75	1,70
6	21,4	16,5	13,8	5,35	3,71	2,75	1,70
7	21,5	17,3	15,0	5,37	3,73	2,75	1,70
8	21,7	18,0	15,4	5,40	3,75	2,76	1,70
9	21,8	18,1	15,2	5,45	3,77	2,77	1,70
10	21,9	18,1	14,6	5,50	3,80	2,78	1,70
15	20,2	17,3	13,6	5,97	4,02	2,80	1,70
20	—	—	12,7	6,70	4,40	2,85	1,72
25	—	—	—	6,97	4,89	2,95	1,74
30	—	—	—	7,10	5,21	3,10	1,77
35	—	—	—	7,10	5,36	3,25	1,79
40	—	—	—	7,02	5,36	3,40	1,83
45	—	—	—	6,92	5,30	3,52	1,88
50	—	—	—	6,85	5,25	3,61	1,93
60	—	—	—	6,70	5,13	3,69	2,07
70	—	—	—	—	5,0	3,73	2,21
80	—	—	—	—	—	3,70	2,27
90	—	—	—	—	—	3,68	2,29
100	—	—	—	—	—	—	2,33
125	—	—	—	—	—	—	2,33

19. Внутреннее индуктивное сопротивление воздушных линий

Ток линии, А	Внутреннее индуктивное сопротивление, Ом/км, стальных проводов марок						
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	1,04	0,69	—	—	—	—	—
1	2,27	1,54	—	—	—	—	—
1,5	4,24	2,82	2,13	0,55	0,34	0,23	0,16
2	6,45	4,38	3,58	0,55	0,35	0,24	0,17
3	9,60	7,90	6,45	0,56	0,36	0,25	0,17
4	11,9	9,70	8,10	0,59	0,37	0,25	0,18
5	14,1	11,5	9,70	0,63	0,40	0,26	0,18
6	16,3	12,5	11,2	0,67	0,42	0,27	0,19
7	16,5	13,20	12,3	0,70	0,45	0,27	0,19
8	16,7	14,2	13,3	0,77	0,48	0,28	0,20
9	16,9	14,3	13,1	0,84	0,51	0,29	0,20
10	17,1	14,3	12,4	0,93	0,55	0,30	0,21
15	18,3	13,3	11,4	1,33	0,75	0,35	0,23

1	2	3	4	5	6	7	8
20	—	—	10,5	1,63	1,04	0,42	0,25
25	—	—	—	1,91	1,32	0,49	0,27
30	—	—	—	2,01	1,56	0,59	0,30
35	—	—	—	2,06	1,66	0,69	0,33
40	—	—	—	2,09	1,69	0,80	0,37
45	—	—	—	2,08	1,71	0,91	0,41
50	—	—	—	2,07	1,72	1,00	0,45
60	—	—	—	2,00	1,70	1,10	0,55
70	—	—	—	—	1,64	1,14	0,65
80	—	—	—	—	—	1,15	0,70
90	—	—	—	—	—	1,14	0,72
100	—	—	—	—	—	—	0,73
125	—	—	—	—	—	—	0,73

20. Индуктивные сопротивления трехжильных кабелей и изолированных проводов, проложенных на роликах и изоляторах, Ом/км

Площадь сечения, мм ²	Трехжильные кабели с медными жилами			Изолированные провода	
	до 1 кВ	6 кВ	10 кВ	на роликах	на изоляторах
1,5	—	—	—	0,28	0,32
2,5	—	—	—	0,26	0,30
4,0	0,095	—	—	0,25	0,29
6,0	0,09	—	—	0,23	0,28
10,0	0,073	0,11	—	0,22	0,26
16,0	0,0675	0,102	0,113	0,20	0,24
25	0,0662	0,091	0,099	0,19	0,24
35	0,0637	0,087	0,095	0,19	0,24
50	0,0625	0,083	0,09	0,19	0,23
70	0,0612	0,080	0,086	0,19	0,23
95	0,0602	0,078	0,083	0,18	0,23
120	0,0600	0,076	0,081	0,18	0,22
150	0,0596	0,074	0,079	—	—
185	0,0596	0,073	0,077	—	—
240	0,0587	0,071	0,075	—	—

21. Технические данные шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Допустимая нагрузка при одной полосе на фазу, А						
	алюминиевые		медные		Размеры, мм	стальные	
	перемен- ный ток	постоян- ный ток	перемен- ный ток	постоян- ный ток		перемен- ный ток	постоян- ный ток
15x3	165	165	210	210	16x2,5	55	70
20x3	215	215	275	275	20x2,5	60	90
25x3	265	265	340	340	25x2,5	75	110
30x4	365	370	475	475	20x3	65	100
40x4	480	480	625	625	25x3	80	120
40x5	540	545	700	705	30x3	95	140
50x5	665	670	860	870	40x3	125	190
50x6	740	745	955	960	50x3	155	230
60x6	870	880	1125	1145	60x3	185	280
80x6	1150	1170	1480	1510	70x3	215	320
100x6	1425	1455	1810	1875	80x3	245	365
60x8	1025	1040	1320	1345	90x3	275	410
80x8	1320	1355	1690	1775	100x3	305	460
100x8	1625	1690	2080	2180	20x4	70	115
120x8	1900	2040	2400	2600	22x4	75	125
60x10	1155	1180	1475	1525	25x4	85	140
80x10	1480	1540	1900	1990	30x4	100	165
100x10	1820	1910	2310	2470	40x4	130	220
120x10	2070	2300	2650	2950	50x4	165	270
					60x4	195	325
					70x4	225	375
					80x4	260	430
					90x4	290	480
					100x4	325	535

22. Значения моментов нагрузки сетей освещения

$\Delta U, \%$	Значения моментов нагрузки, кВт·м, в зависимости от площади сечения проводников с алюминиевыми жилами, мм ²											
	6	10	16	25	35	50	2,5	4	6	10	16	
	трехфазные линии 380/220 В						однофазные линии 220 В					
0,2	53	88	141	220	308	440	4	6	9	15	24	
0,4	106	176	282	440	616	880	7	12	18	30	47	
0,6	158	264	422	660	924	1320	11	18	27	44	71	
0,8	211	352	563	880	1232	1760	15	24	35	59	94	
1,0	264	440	704	1100	1540	2200	18	30	44	74	118	
1,2	317	528	845	1320	1848	2640	22	36	53	89	142	
1,4	370	616	986	1540	2156	3080	25	41	62	104	166	
1,6	422	704	1126	1760	2464	3520	30	47	71	118	189	
1,8	475	792	1267	1980	2772	3960	33	53	80	133	213	
2,0	528	880	1408	2200	3080	4400	37	59	89	148	237	
2,2	581	968	1549	2420	3388	4840	41	65	98	163	260	
2,4	634	1056	1690	2640	3696	5280	44	71	107	178	284	
2,6	686	1144	1830	2860	4004	5720	48	77	115	192	308	
2,8	739	1232	1971	3080	4312	6160	52	83	124	207	331	
3,0	792	1320	2112	3300	4620	6600	55	89	133	221	355	
3,2	845	1408	2253	3520	4928	7040	59	95	142	236	379	
3,4	898	1496	2394	3740	5236	7480	63	101	151	251	403	
3,6	950	1584	2534	3960	5544	7920	67	107	160	265	426	
3,8	1003	1672	2675	4180	5852	8360	70	112	169	280	450	
4,0	1056	1760	2816	4400	6160	8800	74	118	178	296	474	

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.Н., Копытов Ю.В. Пути экономии энергоресурсов в народном хозяйстве. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 127 с.
2. Васин В.М. Электрический привод. — М.: Высш. шк., 1984. — 231 с.
3. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергетики и их контроль на промышленных предприятиях. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 167 с.
4. Зимиин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. — М.: Энергоиздат, 1981. — 552 с.
5. Инструктивные материалы Главэнергонадзора / Минэнерго СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 352 с.
6. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве: СН-423-71. — М.: Стройиздат, 1972. — 112 с.
7. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений: СН-305-77. — М.: Стройиздат, 1978. — 47 с.
8. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий: СН-174-75. — М.: Стройиздат, 1976. — 56 с.
9. Инструкция по разработке проектов организации строительства (электроэнергетика): ВСН-33-82. — М.: Минэнерго СССР, 1982. — 67 с.
10. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных установках: (Внутреннее освещение) / Ю.Б. Айзенберг, Ц.И. Кроль, М.А. Файермарк. — М.: Энергоиздат, 1981.
11. Камнев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок. — М.: Высш. шк., 1986. — 143 с.
12. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Высш. шк., 1986. — 400 с.
13. Основные положения энергетической программы СССР на длительную перспективу. — М.: Политиздат, 1984. — 32 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 423 с.
15. Правила устройства электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
16. Прузнер С.Л. Экономика, организация и планирование энергетического производства. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 336 с.
17. Сборник правил пожарной безопасности: Ч. 1 / Сост. В.Ю. Буткевичус. — М.: Стройиздат, 1981. — 415 с.
18. Синягин Н.Н., Афанасьев Н.А., Новиков С.А. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 448 с.
19. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение: Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1980. — 49 с.
20. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 471 с.
21. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий: В 2 кн. / Под ред. В.В. Белоцерковца, В.К. Добрынина, В.Д. Никельберга. — М.: Энергоатомиздат, 1983. Кн. 1. — 295 с. Кн. 2. — 400 с.
22. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 480 с.
23. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина. — М.: Энергоиздат, 1982. — 415 с.
24. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самоверва. — М.: Энергия, 1980. — 456 с.
25. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотана, И.М. Шапиро. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 349 с.
26. Фурунжиев Р.И. Вычислительная техника: Практикум. — Мн.: Выш. шк., 1985. — 254 с.
27. Электромонтажные устройства и изделия: Справ. — М.: Энергоатомиздат, 1988.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие	3
Глава 1.	Организация дипломного проектирования.	5
1.1.	Организация труда учащегося в период дипломного проектирования	5
1.2.	Дипломное задание и подготовка исходных данных	6
1.3.	Производственная преддипломная практика	9
1.4.	Последовательность выполнения дипломного проекта	11
1.5.	Описание проектируемого объекта и его технологического процесса	16
Глава 2.	Оформление, нормоконтроль и защита дипломного проекта	21
2.1.	Обозначение частей проекта	21
2.2.	Оформление графической части проекта, титульного листа и содержания пояснительной записки	22
2.3.	Оформление пояснительной записки	24
2.4.	Нормоконтроль в дипломном проектировании	28
2.5.	Порядок защиты дипломного проекта	29
Глава 3.	Проектирование силового электрооборудования	31
3.1.	Выбор рода тока и напряжения	31
3.2.	Выбор силового электрооборудования	32
3.3.	Выбор аппаратов управления	34
3.4.	Выбор схемы электрической сети для питания электрооборудования цеха	36
3.5.	Выбор электропроводок	39
Глава 4.	Автоматизация электропривода и реальное проектирование.	48
4.1.	Расчет мощности электродвигателей	48
4.2.	Выбор защитных аппаратов электродвигателей	50
4.3.	Разработка принципиальной электрической схемы	53
4.4.	Проектирование электропривода	58
4.5.	Разработка макетов действующих установок	59
4.6.	Порядок разработки тем, имеющих практическое применение на предприятиях	60
Глава 5.	Организация электромонтажного производства	63
5.1.	Проект производства электромонтажных работ	63
5.2.	Технология электромонтажных работ	69
5.3.	Графики производства работ	71
5.4.	Расчет сетевого графика	76
Глава 6.	Экономия и качество электроэнергии	81
6.1.	Мероприятия по экономии электроэнергии производственными установками	81
6.2.	Рациональное использование электроэнергии в осветительных установках	84
6.3.	Показатели качества электроэнергии	87
6.4.	Средства улучшения качества электроэнергии	90
Глава 7.	Нагрузки и распределение электроэнергии	93
7.1.	Определение электрических нагрузок промышленных установок	93
7.2.	Расчет однофазных нагрузок	97
7.3.	Электроснабжение предприятия	100
7.4.	Комплектные трансформаторные подстанции	102
Глава 8.	Выбор площади сечения проводников	107
8.1.	Классификация кабелей и проводов	107
8.2.	Выбор площади сечения проводников по нагрузке	109
8.3.	Выбор площади сечения проводников по экономической плотности тока	113
8.4.	Проверка проводников по образованию короны	114
8.5.	Выбор проводников по потере напряжения и защите от перегрузки	115
8.6.	Применение шинпроводов для питания промышленных электроприемников	118
Глава 9.	Электрическое освещение	120
9.1.	Выбор источников света	120

9.2.	Расчет освещения	121
9.3.	Выбор напряжения и источников питания для осветительных установок	124
9.4.	Расчет электрической осветительной сети	127
9.5.	Графическое оформление плана осветительной установки	129
Глава 10.	Компенсация реактивной мощности и выбор трансформаторов	132
10.1.	Способы компенсации реактивной мощности	132
10.2.	Расчет компенсирующего устройства упрощенными методами	132
10.3.	Определение мощности батарей конденсаторов в сетях до 1 кВ по минимуму приведенных затрат	134
10.4.	Расчет компенсирующих устройств по реактивным нагрузкам	138
10.5.	Выбор силовых трансформаторов	139
Глава 11.	Расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов	143
11.1.	Потери мощности и энергии в трансформаторах	143
11.2.	Расчет токов короткого замыкания	145
11.3.	Выбор электрооборудования	155
11.4.	Расчет сети напряжением выше 1 кВ	159
Глава 12.	Эксплуатация электрооборудования. Охрана труда и окружающей среды	164
12.1.	Ремонт силового электрооборудования	164
12.2.	Обслуживание осветительных электроустановок	166
12.3.	Применение защитного заземления и зануления	168
12.4.	Безопасность труда	171
12.5.	Охрана окружающей среды	174
Глава 13.	Применение вычислительной техники при выполнении дипломных проектов	176
13.1.	Расчеты с применением ЭВМ	176
13.2.	Расчеты с применением программируемых микрокалькуляторов	191
Глава 14.	Технико-экономические расчеты	199
14.1.	Общие требования к экономической части проекта	199
14.2.	Технико-экономическое обоснование выбранного варианта	200
14.3.	Сметы затрат на приобретение электрооборудования и производство монтажных работ	202
14.4.	Определение численности работников электротехнической службы и фонда заработной платы	209
14.5.	Технико-экономические показатели	212
14.6.	Спецификации и перечень элементов на электрооборудование и материалы	213
Приложения		215
Литература		236

Учебное издание

Гурин Николай Александрович, Янукович Генрих Иосифович
**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
И УСТАНОВОК**

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебное пособие

Заведующий редакцией *А.Ф.Зиновьев*

Редактор *М.Г.Москаленко*

Мл. редакторы *А.П.Берлина, Т.И.Крючкова*

Художественный редактор *Ю.С.Сергачев*

Технический редактор *Л.И.Счисленок*

Корректоры *Н.В.Кудрейко, Т.М.Рутковская*

Оператор *М.К.Войнич*